

**PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO POR
GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ADUBADAS COM
FERTILIZANTES FOSFATADOS E PELA SOJA E
FEIJOEIRO CULTIVADOS EM SUCESSÃO**

SÍLVIO JÚNIO RAMOS

2007

SÍLVIO JÚNIO RAMOS

**PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO POR GRAMÍNEAS
FORRAGEIRAS ADUBADAS COM FERTILIZANTES FOSFATADOS E
PELA SOJA E FEIOEIRO CULTIVADOS EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
para a obtenção do título de "Mestre".

Orientador
Prof. Valdemar Faquin

LAVRAS
MINAS GERAIS - BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Ramos, Sílvio Júnio

Produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras adubadas com fertilizantes fosfatados e pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão / Sílvio Júnio Ramos -- Lavras : UFLA, 2007.

63p. : il.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Lavras, 2007.

Orientador: Valdemar Faquin.

Bibliografia.

1. Aproveitamento de fósforo. 2. Adubação fosfatada. 3. Cobertura vegetal. 4. Integração lavoura-pecuária. 5. Braquiária. 6. Braquiaraão. 7. Milheto. 8. Sorgo forrageiro. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-633.208895

SÍLVIO JÚNIO RAMOS

**PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO POR GRAMÍNEAS
FORRAGEIRAS ADUBADAS COM FERTILIZANTES FOSFATADOS E
PELA SOJA E FEIJOEIRO CULTIVADOS EM SUCESSÃO**

Dissertação apresentada à Universidade Federal
de Lavras, como parte das exigências do
Programa de Pós-Graduação em Ciência do Solo
para a obtenção do título de "Mestre".

APROVADA em 30 de Julho de 2007

Prof^a. Janice Guedes de Carvalho – DCS/UFLA

Prof.º. Luiz Arnaldo Fernandes – NCA/UFMG, Montes Claros – MG.

Prof.º. Valdemar Faquin
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL

À minha mãe, pelo esforço dedicado a minha
formação e aos meus irmãos Nilton e
Flávio, pelo apoio incondicional
nessa minha caminhada.

DEDICO

À minha esposa, Mariele, pelo carinho,
companheirismo e ajuda nos
momentos difíceis .

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras (UFLA) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela oportunidade de realizar o curso e pela concessão da bolsa de estudo.

Ao professor Valdemar Faquin pelo exemplo de dedicação, orientação e ensinamentos transmitidos durante o curso.

Aos professores da Universidade Federal de Minas Gerais: Reginaldo Arruda Sampaio, Cândido Alves da Costa, Paulo Sérgio Nascimento Lopes por colocar-me no caminho da ciência e, principalmente ao Prof. Luiz Arnaldo Fernandes pelo apoio e incentivo constante.

Aos professores e funcionários do Departamento de Ciência do Solo pelo apoio na realização deste trabalho.

Aos colegas Alisson, Cecílio, Cleidson, Denilson, Douglas, Eduardo, Josinaldo, Kátia, Marcos, Sheila, Rogério e Wagner pela solidariedade e valiosa amizade.

SUMÁRIO

Resumo geral.....	i
General Abstract.....	iii
1 Introdução Geral.....	01
2 Referências Bibliográficas.....	04
CAPÍTULO I: Produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com fertilizantes fosfatados	07
Resumo.....	08
Abstract.....	09
1 Introdução.....	10
2 Material e Métodos.....	12
3 Resultados e Discussão.....	16
4 Conclusões.....	25
5 Referências Bibliográficas.....	26
CAPÍTULO II: Aproveitamento de fósforo e rendimento da soja e feijoeiro cultivados em sucessão a gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de arad	30
Resumo.....	31
Abstract.....	32
1 Introdução.....	33
2 Material e Métodos.....	35
3 Resultados e Discussão.....	39
4 Conclusão.....	53
5 Referências Bibliográficas.....	54
ANEXOS.....	59

RESUMO GERAL

RAMOS, Sílvio Júnio. **Produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras adubadas com fertilizantes fosfatados e pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão.** 2007. 63p. Dissertação (Mestrando em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

O presente trabalho objetivou avaliar: (i) a produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com fertilizantes fosfatados; (ii) o aproveitamento de fósforo e o rendimento da soja e feijoeiro cultivados em sucessão às gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad. Foram realizados experimentos em vasos com quatro dm³ de solo, utilizando-se um Cambissolo Háptico Tb distrófico típico textura média e um Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. Os experimentos foram realizados em duas etapas. Na primeira etapa as gramíneas forrageiras foram cultivadas nos vasos com dois fertilizantes fosfatados. Na segunda etapa, após o corte das forrageiras e deposição da palha na superfície dos vasos, foram cultivados a soja e o feijoeiro como culturas de sucessão. Para a avaliação da produção e utilização de P pelas forrageiras, foram realizados dois experimentos, um em cada solo, utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro forrageiras (*Brachiaria decumbens* - braquiária, *Brachiaria brizantha* - braquiarão, *Pennisetum glaucum* - milheto e *Sorghum bicolor* - sorgo forrageiro) e duas fontes de P (Superfosfato Triplo – SFT e Fosfato Reativo de Arad – FRA), com quatro repetições. Para a avaliação do aproveitamento de fósforo e rendimento da soja e feijoeiro cultivados em sucessão, foram realizados quatro experimentos, dois em cada solo, utilizando-se o delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo os cinco tratamentos de cobertura dos solos, representados pelo cultivo prévio das quatro forrageiras (*Brachiaria decumbens* - braquiária, *Brachiaria brizantha* - braquiarão, *Pennisetum glaucum* - milheto e *Sorghum bicolor* - sorgo forrageiro), mais o solo sem cultivo e duas fontes de P (SFT e FRA), com quatro repetições. Os solos sem cultivo prévio de forrageiras foram representados pelos dois solos adubados com as fontes de P, na mesma época da implantação das forrageiras, mas que não foram cultivados, permanecendo, portanto, em pousio durante o cultivo prévio das forrageiras. Os resultados mostraram para a fonte menos solúvel (FRA), as médias encontradas nas forrageiras, para matéria seca total,

¹Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Co-orientador)

acúmulo de P total, eficiência de utilização e uso eficiente do P disponível foram sempre maiores quando cultivadas no Latossolo, indicando condições favoráveis para a solubilização do fosfato reativo. As gramíneas mostraram diferenças no potencial de aproveitamento do P, em função das fontes de P aplicadas e dos solos utilizados. Menos de 10% do P aplicado foi imobilizado na matéria seca das gramíneas, sendo os maiores valores observados para o SFT, mas isso não se refletiu em maior eficiência de uso de P dessa fonte. De maneira geral, o braquiário apresentou boa produção de massa com baixo acúmulo de P, o que conferiu à forrageira boa eficiência de utilização de P para ambas as fontes e solos. Para a soja e feijoeiro cultivados em sucessão, no Cambissolo, solo mais arenoso, quando adubado com a fonte de P de menor solubilidade (FRA), o cultivo prévio das forrageiras promoveu maiores crescimento, produção e aproveitamento do efeito residual do P aplicado; o mesmo não foi observado no Latossolo, mais argiloso. Para a fonte solúvel (SFT), o cultivo prévio das gramíneas não afetou essas variáveis na soja e no feijoeiro cultivados no Cambissolo e, de maneira geral, no Latossolo, foi prejudicial, quando comparado com o tratamento sem cultivo. Dentre as gramíneas estudadas, não se observou efeito definido do seu cultivo prévio sobre as variáveis avaliadas na soja e no feijoeiro cultivados em sucessão.

GENERAL ABSTRACT

RAMOS, Sílvia Júnio. **Production and utilization of phosphorus for forage grasses fertilized with phosphorus sources and for soybean and bean plant grown in succession.** 2007. 63p. Dissertation (Master in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG².

The present work was carried out to evaluate: (i) the production and utilization of phosphorus for forage grasses fertilized with phosphorus sources; (ii) the use of phosphorus and the soybean and bean plant yield grown in succession to forage grasses fertilized with triple superphosphate and Arad reactive phosphate. The experiments were carried out using Inceptisol (*Cambisol*) and Oxisol (*Latosol*). The experiments were carried in two phases. Firstly, the forage grasses were grown in pots with two phosphorus fertilizers sources. Secondly, after the cutting of the forages and deposition of the straw in the surface of the pots, both soybean and the bean plant were cultivated in succession. For the evaluation of the production, use and utilization of the P for forage plants, two experiments were carried out in a completely randomized design using a 4 x 2 factorial scheme, and the treatments consisted of a combination of four forage plants (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Pennisetum glaucum* and *Sorghum bicolor*) with two sources of P (Triple Superphosphate - TSP and Arad Reactive Phosphate - ARP), with four replications. For the evaluation of the use of phosphorus and the soybean and bean plant yield cultivated in succession, four experiments were carried out in a completely randomized design in 5 x 2 factorial scheme, the five treatments being of soil cover, represented by the previous cultivation of the four forage plants (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Pennisetum glaucum* and *Sorghum bicolor*), plus the soil without cultivation and two sources of P (TSP and ARP), with four replications. The soils without previous cultivation of forage grasses were represented by the two soils fertilized with the sources of P, at the same time as the implantation of the forage grasses, but were not cultivated, remaining, therefore, in fallow during previous cultivation of the forage grasses. The results showed that for less soluble source (ARP), the averages found in the forage grasses, for total dry matter, total accumulation of P, utilization efficiency and efficient use of available P, were always superiors when cultivated in Oxisol, indicating favorable conditions for the solubility of the Arad reactive phosphate. The forage plants showed differences in the

²Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (adviser), Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Co-adviser)

potential of use of P, in function of the sources of applied P and of the soils used. Less than 10% of applied P was immobilized in the dry matter of the forage plants, the largest values being observed for TSP, but that was not reflected in a higher efficiency of P use from that source. In a general way, the *Brachiaria brizantha* presented good mass production with low accumulation, which agreed with the forage good efficiency use of P for both sources and soils. In Inceptsol, when fertilized with the lower solubility (ARP) P source, the previous cultivation of the forage plants promoted larger growth, production and use of the residual effect of applied P in the soybean and in the bean plant cultivated in succession; the same was not observed in Oxisol. For the soluble source (TSP), the previous cultivation of the forage grasses didn't affect those variables in the soybean and bean plant cultivated in Inceptsol and, in a general way, in Oxisol, it was harmful, when compared with the treatment without cultivation. Among the forage grasses studied, a defined effect of their previous cultivation on the evaluating variables in the soybean and bean plant cultivated in succession was not observed.

1 INTRODUÇÃO GERAL

Nas últimas décadas, os esforços têm sido direcionados no sentido de otimizar a eficiência de utilização de nutrientes pelas plantas, visando a reduzir os custos de produção, evitar a degradação dos recursos ambientais e aumentar o rendimento das culturas.

Neste sentido, a produtividade das culturas depende, dentre outros fatores, do adequado suprimento de nutrientes, sendo o fornecimento de fósforo (P), via adubação, uma prática essencial nos solos brasileiros, os quais, apresentam intensa deficiência de P, devido ao pH ácido e à presença de grandes proporções de óxidos de Fe e Al na fração argila, que aumenta muito a adsorção de fosfatos e a formação de precipitados com Fe e Al, reduzindo, conseqüentemente, a disponibilidade de P para as plantas (Raij, 1991; Novais & Smyth, 1999).

Um dos maiores avanços no processo produtivo da agricultura brasileira foi a introdução do Sistema de Plantio Direto (SPD) no sul do Brasil, a partir do início da década de setenta. Mas, somente na década de noventa é que ocorreu grande expansão na área sob SPD, tanto na região Sul quanto na região do Cerrado. Atualmente são cultivados no Brasil cerca de 20 milhões de hectares sob o SPD, estando 25% da área localizada na região do Cerrado (Lopes et al., 2004). As áreas sob o SPD apresentam inúmeras características próprias, não só atuando como um sistema eficiente de conservação do solo, mas, também, promovendo grande alteração com relação à fertilidade do solo, dentre outros efeitos. O não revolvimento do solo e o acúmulo progressivo de restos das culturas; adubações sucessivas em sulcos ou a lanço superficial, com conseqüente acúmulo dos nutrientes superficialmente; qualidade e quantidade de matéria orgânica acumulada; dinâmica da água no solo diferente da que ocorre

com o preparo convencional do solo e maior atividade microbológica, são alguns exemplos.

A alteração no teor de matéria orgânica no solo tem implicações no pH, na solubilidade e toxidez por alumínio, na dinâmica dos nutrientes e, dentre eles, destaca-se o fósforo. A elevação do pH e o aumento dos teores de matéria orgânica no solo são fatores que reduzem a adsorção e aumentam a disponibilidade do P às plantas (Novais & Smyth, 1999). Mas, no Cerrado, um fator adicional à implantação do SPD está na seleção de plantas de cobertura capazes de produzir grande quantidade de massa vegetal, ser eficiente no aproveitamento e reciclagem do fósforo de baixa disponibilidade no solo ou de fontes de menor solubilidade (Lopes et al., 2004).

Poucos são os trabalhos avaliando as gramíneas forrageiras, como milho, sorgo forrageiro e, mais recentemente, plantas do gênero *Brachiaria*, espécies estas que, segundo Bernardi et al. (2003) e Landers (2001), tornaram viável o uso do SPD sob o Cerrado, pois possibilitaram adequada formação de palhada, essencial para a sustentabilidade do sistema. Essas espécies também têm demonstrado importante papel na integração lavoura-pecuária, aumentando a produção de palhada, principalmente no bioma Cerrado (Lange et al., 2004). No entanto, são raros os estudos que avaliam o efeito do cultivo dessas espécies no aproveitamento e reciclagem de P e, conseqüentemente, na disponibilidade desse nutriente para as culturas subseqüentes.

Recentemente, Francisco (2002) e Seguatelli (2004) verificaram que a adubação fosfatada da soja antecipada na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn. (Capim pé-de-galinha), além de proporcionar maior produção de fitomassa da planta de cobertura, não alterou a produção de grãos da soja, o que beneficiou o sistema implantado. Em estudos realizados por Oliveira et al. (2002) e Nunes et al. (2006) ficou demonstrado que a espécie produtora de palha exerceu grande influência no rendimento de grãos do feijão. Entretanto,

Carvalho (2000) e Silva et al. (2004) verificaram que diferentes coberturas vegetais não influenciaram na produtividade do feijoeiro. Segundo Igue (1984), as gramíneas possuem maior volume de raiz, melhorando a porosidade e agregação do solo, além de representar a melhor alternativa na associação com leguminosas comerciais. Assim, Broch (2000), Pitol et al. (2001) e Kluthcouski & Stone (2003) relatam que em diversas áreas de Cerrado, a soja e o feijoeiro apresentaram maiores produções sobre palhada de plantas do gênero *Brachiaria*, principalmente em sucessão à *Brachiaria brizantha*.

Atualmente, a adubação fosfatada em SPD é feita totalmente em superfície e com uso de fontes solúveis como o superfosfato triplo, superfosfato simples e monoamônio fosfato. Recentemente, têm sido avaliadas fontes reativas, como o fosfato de Arad. Esses fosfatos apresentam, no primeiro ano, resultados de produção semelhante aos obtidos com as fontes solúveis e apresentam um menor custo (Rajan et al., 1996; Sousa & Lobato, 2003; Horowitz & Meurer, 2004), tanto em solos com teores iniciais médios de P (Choudhary et al., 1994), quanto naqueles com teores baixos (Fotyma et al., 1996). Segundo Novais & Smyth (1999), os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem favorecer o maior aproveitamento do nutriente pelas culturas.

Nesse sentido os objetivos do presente trabalho foram avaliar:

- a produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com fertilizantes fosfatados;
- o aproveitamento e o rendimento da soja e do feijoeiro cultivados em sucessão a gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad.

2 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BROCH, D. L. Integração agricultura-pecuária no Centro-Oeste do Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4, 1999, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p. 53-60.

CARVALHO, M. A. C. **Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS**. 2000. 189 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

CHOUDHARY, M.; PECK, T. R.; PAUL, L. E.; BAILEY, L. D. Longterm comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 74, p. 303-310, 1994.

FOTYMA, M.; HAMMOND, L.; KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. **Fertilizer Research**, v. 43, p. 83-86, 1996.

FRANCISCO, E. A. B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn em sistema de plantio direto**. 2002. 58p Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 665-688.

IGUE, K. **Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo**. Adubação verde no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p.232-267.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L.F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 499-522.

LANDERS, J. N. **Zero tillage development in tropical Brazil – the story of a succesful NGO activity**. Rome: FAO, 2001. 69 p. (FAO. Agricultural Services Bulletin, 147).

LANGE, A.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Matéria seca e ciclagem de nutrientes na palha em solo arenoso em sistema semeadura direta no cerrado. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Resumos...** Lages-SC: UDESC, 2004. CD-ROM.

LOPES, A. S.; WIETHOLTER, S.; GUILHERME, L. R. G.; SILVA, C. A. **Sistema plantio direto**: bases para o manejo da fertilidade do solo. São Paulo: ANDA, 2004. 110 p.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa, MG: UFV, 1999. 399 p.

NUNES, U. R.; JÚNIOR, V. C. A.; SILVA, E. B.; SANTOS, N. F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 943-948, 2006.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

PITOL, C.; GOMES, E. L.; ERGES, E. I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre braquiária. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação**: safra 2000/2001. Maracaju, 2001. p. 40-48.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343 p.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct applications to soils. **Advances in Agronomy**, v. 57, p. 77-159, 1996.

SEGUATELLI, C. R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.** 2004. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SILVA, M. G. ; ARF, O. ; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. **Scientia Agrícola**, v. 61, p. 307-312, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado.** Piracicaba, 2003. 16p. (Informações Agronômicas. Encarte Técnico, 102).

CAPÍTULO I

PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FÓSFORO POR GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS DE COBERTURA ADUBADAS COM FERTILIZANTES FOSFATADOS

RESUMO

RAMOS, Sílvia Júnio. Produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com fertilizantes fosfatados. In: _____ **Produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras adubadas com fertilizantes fosfatados e pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão.** 2007. 63p. Dissertação (Mestrando em Ciência do Solo) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

O presente trabalho objetivou avaliar em dois solos distintos adubados com fontes de fósforo de diferentes solubilidades, a produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras de cobertura. Para tal, conduziram-se dois experimentos, um em cada solo (Cambissolo e Latossolo), utilizando-se vasos com quatro dm³ de solo. O delineamento experimental, para cada solo, foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro espécies forrageiras (*Brachiaria decumbens* - braquiária, *Brachiaria brizantha* - braquiarião, *Pennisetum glaucum* - milheto e *Sorghum bicolor* - sorgo forrageiro) e duas fontes de P (Superfosfato Triplo – SFT e Fosfato Reativo de Arad – FRA), com quatro repetições. As gramíneas forrageiras foram colhidas na fase de pré-florescimento, quando se obtiveram o peso da matéria seca e os teores de P. Relacionando os teores de P com a matéria seca produzida, foi determinado o acúmulo de P total. Com esses dados, foram calculados os índices de eficiência das raízes na absorção de P, eficiência no transporte do P absorvido, eficiência de utilização, uso eficiente do P disponível, eficiência de aproveitamento do P aplicado e eficiência da fertilização fosfatada. Para a fonte menos solúvel (FRA), as médias encontradas nas forrageiras, para matéria seca total, acúmulo de P total, eficiência de utilização e uso eficiente do P disponível, foram sempre maiores quando cultivadas no Latossolo, indicando condições favoráveis para a solubilização do fosfato reativo. As gramíneas mostraram diferenças no potencial de aproveitamento do P, em função das fontes de P aplicadas e dos solos utilizados. Menos de 10% do P aplicado foi imobilizado na matéria seca das gramíneas, sendo os maiores valores observados para o SFT, mas isso não se refletiu em maior eficiência de uso de P dessa fonte. De maneira geral, o braquiarião apresentou boa produção de massa com baixo acúmulo de P, o que conferiu à forrageira boa eficiência de utilização de P para ambas as fontes e solos.

¹Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Co-orientador)

ABSTRACT

RAMOS, Sílvia Júnio. Production and utilization of phosphorus for forage grasses fertilized with phosphorus sources. In: _____ **Production e utilization of phosphorus for forage grasses fertilized with phosphorus sources and for the soybean and bean plant grown in succession.** 2007. 63p. Dissertation (Master in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG¹.

The present work was carried out to evaluate in two different soils fertilized with phosphorus sources, the production and utilization of phosphorus for forage grasses. Two experiments were carried out using Inceptsol (Cambisol) and Oxisol (Latosol) samples, using four dm³ pots with soil. For both experiments, one in each soil, were carried out in a completely randomized design using a 4 x 2 factorial scheme, and the treatments consisted of a combination of four forage plants (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Pennisetum glaucum* and *Sorghum bicolor*) with two sources of P (Triple Superphosphate - TSF and Arad Reactive Phosphate - ARF), with four replicates. The forage grasses were harvested in the flowering, when they were obtained the weight of the dry matter and the concentration of P. Relating the concentration of P with the dry matter produced, it was certain the accumulation of total P. With those data, were calculated the indexes: the P uptake efficiency of roots, P-transport, P utilization efficiency, use of available P efficiency, use of applied P efficiency and the fertilization phosphate efficiency. The results showed that for the less soluble source (ARP), the averages found in the forage grasses, for total dry matter, total accumulation of P, utilization efficiency and efficient use of available P, were always superiors when cultivated in Oxisol, indicating favorable conditions for the solubility of the Arad reactive phosphate. The forage plants showed differences in the potential of use of P, in function of the sources of applied P and of the soils used. Less than 10% of applied P was immobilized in the dry matter of the forage plants, the largest values being observed for TSP, but that was not reflected in higher efficiency of P use from that source. In a general way, the *Brachiaria brizantha* presented good mass production with low P accumulation of P, which agreed with the forage good efficiency use of P for both sources and soils.

¹Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (adviser), Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

A definição de espécies com elevada produtividade de fitomassa para cobertura do solo é um dos fatores para o sucesso do sistema de plantio direto (SPD). No entanto, a produção de palhada para esse sistema no cerrado brasileiro está sujeita às condições de umidade e temperatura elevadas em boa parte do ano, que causam a rápida decomposição da fitomassa depositada sobre o solo. Por esta razão, resíduos com maior relação C/N, como das gramíneas forrageiras, são mais indicados para esse sistema, pois quanto maior essa relação, mais lenta a decomposição dos resíduos (Calegari et al., 1993).

Vários estudos indicam que o teor de fósforo nos solos nas regiões tropicais do Brasil é um dos fatores mais limitantes para o crescimento e produtividade das culturas, em função de sua baixa biodisponibilidade, tanto pelo seu nível de reserva quanto pela elevada retenção de fosfatos pelo solo. Nesse contexto, há uma grande necessidade de intensificar a busca por plantas mais eficientes no aproveitamento do P, de modo que possa elevar a sustentabilidade dos sistemas produtivos, a fim de proporcionar maior cobertura do solo no SPD e, também, maior pastejo nos meses mais secos de inverno, na integração lavoura-pecuária.

Poucos são os trabalhos avaliando as gramíneas forrageiras como milheto, sorgo forrageiro e, mais recentemente, plantas do gênero *Brachiaria*, espécies estas, que segundo Bernardi et al. (2003), Landers (2001) e Lange et al. (2004) tornaram viável o uso do SPD no Cerrado e também a integração lavoura-pecuária, pois possibilitaram a adequada formação de palhada, essencial para a sustentabilidade do sistema.

Em SPD, ou mesmo em integração lavoura-pecuária, o aumento da deposição de resíduos vegetais na superfície do solo e ausência de revolvimento resulta na reciclagem de nutrientes, controle da erosão, proteção e melhoria das propriedades físicas, químicas e biológicas do solo (Cobucci, 2001). De acordo com Menezes (2002), há um aumento considerável nos teores de fósforo em superfície, devido à deposição do

material vegetal. Nesse sentido, Sá (1999) relata que o não revolvimento do solo reduz o contato do fósforo com os colóides do solo, amenizando as reações de adsorção; e além disso, a mineralização lenta e gradual dos resíduos proporciona a liberação e redistribuição de formas orgânicas e mais estáveis e menos susceptíveis às reações de adsorção.

Desse modo, uma opção para melhorar o aproveitamento do fosfato aplicado via fertilizantes é diminuir, antes de sua aplicação, a capacidade do solo em fixar o fosfato. Assim, a diminuição da fixação de fósforo pode ser obtida com o aumento da matéria orgânica, por meio da cobertura permanente no solo com gramíneas forrageiras. Nesse sentido, Baligar & Fageria (1999) relatam que para ocorrer maior eficiência no aproveitamento do fósforo aplicado, é necessário também uma melhor eficiência de absorção, translocação e utilização de nutrientes pelas plantas.

Atualmente, a adubação fosfatada em SPD é feita totalmente em superfície e com uso de fontes solúveis como o superfosfato triplo, superfosfato simples e monoamônio fosfato. Recentemente, têm sido avaliadas fontes reativas, como o fosfato de Arad. Esses fosfatos apresentam, no primeiro ano, resultados de produção semelhante aos obtidos com as fontes solúveis e apresentam um menor custo (Rajan et al., 1996; Sousa & Lobato, 2003; Horowitz & Meurer, 2004), tanto em solos com teores iniciais médios de P (Choudhary et al., 1994), quanto naqueles com teores baixos (Fotyma et al., 1996). Segundo Novais & Smyth (1999), os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem favorecer maior aproveitamento do nutriente pelas culturas.

Desta forma, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras de cobertura adubadas com fertilizantes fosfatados.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados dois experimentos em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, utilizando vasos com 4 dm³ de solo, em amostras (0 - 20 cm) de um Cambissolo Háplico Tb distrófico típico textura média e um Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. O primeiro solo foi coletado no município de Nazareno – MG e o segundo no Campus da UFLA, Lavras – MG. Ambos os solos foram coletados sob vegetação natural sem cultivo prévio.

As análises físicas e químicas dos solos, conforme método descrito pela Embrapa (1999), e mineralógicas conforme Giarola (1994) para o Cambissolo e Souza (2005) para o Latossolo, apresentaram os seguintes resultados, respectivamente: teor de argila: 29 e 70 dag kg⁻¹; pH em água: 5,4 e 4,7; MOS: 2,1 e 4,9 dag kg⁻¹; P (Mehlich 1): 0,6 e 0,9 mg dm⁻³; K: 20 e 20 mg dm⁻³; Ca: 0,7 e 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,2 e 0,2 cmol_c dm⁻³; Al: 0,7 e 1,1 cmol_c dm⁻³; H+Al: 2,3 e 7,0 cmol_c dm⁻³; P-rem: 25,2 e 10,2 mg L⁻¹; Fe₂O₃: 23,0 e 171,8 g kg⁻¹ e Al₂O₃: 155,0 e 319,1 g kg⁻¹.

Para os dois experimentos, o delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado em esquema fatorial 4 x 2, sendo quatro forrageiras (*Brachiaria decumbens* - braquiária, *Brachiaria brizantha* - braquiarião, *Pennisetum glaucum* - milheto e *Sorghum bicolor* - sorgo forrageiro) e duas fontes de P de diferentes solubilidades (Superfosfato Triplo – SFT, com 46,1% de P₂O₅ total; e Fosfato Reativo de Arad – FRA, com 33,1% de P₂O₅ total), com quatro repetições.

Com base na análise química dos solos, foi efetuada a calagem visando a elevar a saturação por bases a 50%, utilizando-se calcário dolomítico calcinado e micropulverizado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%.

Após incubação dos solos por 20 dias com umidade próxima à 60% do volume total de poros (VTP), as fontes de fósforo foram incorporadas nas doses de 150 e 250 mg dm⁻³ de P para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, com base no P total de cada fonte. Antes de ser incorporado aos solos, o SFT foi moído em granulometria aproximada ao FRA. Pretendeu-se, para as duas fontes, aplicar doses de P menores que as adequadas recomendadas por Alvarez V. & Fonseca (1990) para ensaios em vasos, visando a avaliar a capacidade das forrageiras de cobertura em aproveitar o P aplicado aos solos. Assim, o Latossolo, sendo mais argiloso e com características mineralógicas mais favoráveis à adsorção específica de P, recebeu dose maior do nutriente.

Juntamente com a adubação fosfatada foi efetuada uma adubação com 80 mg de N, 80 mg de K, 60 mg de S, 0,5 mg de B, 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm³ de solo, na forma de solução nutritiva, utilizando as seguintes fontes p.a.: NH₄NO₃, KNO₃, (NH₄)₂SO₄, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O e ZnSO₄.7H₂O. Após a aplicação das fontes de fósforo, foram retiradas subamostras nos dois solos para análise química (Tabela 1). Em seguida, foram semeadas 10 sementes por vaso de cada forrageira e desbastadas para quatro plântulas uma semana após a emergência. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 400 mg dm⁻³ de cada nutriente para a braquiária e braquiário e 500 mg dm⁻³ de cada nutriente para o sorgo e milho, parceladas em sete aplicações. Durante todo o período de cultivo das forrageiras, a umidade dos solos foi mantida a 60% do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

As forrageiras de cobertura foram cultivadas até o pré-florescimento, quando a parte aérea foi cortada a dois centímetros da superfície do solo. As raízes e a parte aérea foram secas em estufa a 65-70°C, pesadas e somadas a fim de determinar a produção de matéria seca total. Posteriormente, foram trituradas e submetidas à análise química para determinação dos teores de P (Malavolta et al., 1997).

TABELA 1 Características químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico após a calagem, aplicação das fontes de fósforo e da adubação básica.

Características	Latossolo		Cambissolo	
	SFT	FRA	SFT	FRA
pH H ₂ O (1:2,5)	5,2	5,1	5,3	5,4
P Mehlich (mg dm ⁻³)	30,9	108	45,9	96,9
P-resina (mg dm ⁻³)	76,2	58,1	87,4	53,2
K (mg dm ⁻³)	90	86	76,0	86
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,9	2,9	1,3	1,6
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,0	1,0	0,7	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,2	0,2	0,2
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,6	5,6	2,1	1,9
SB (cmol _c dm ⁻³)	4,1	4,1	2,2	2,1
t (cmol _c dm ⁻³)	4,3	4,3	2,4	2,3
T (cmol _c dm ⁻³)	9,7	9,7	4,3	4,0
V (%)	42,4	42,4	51,0	52,7
m (%)	7,0	5,0	8,0	9
MOS (dag kg ⁻¹)	4,8	4,8	2,2	0,9
P-rem (mg L ⁻¹)	10,9	9,7	26,8	25,2

P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1mol L⁻¹; H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999). P-rem – Fósforo remanescente (Alvarez V. & Fonseca, 2000)

Relacionando-se os teores de P com a matéria seca produzida em cada parte, foi determinado o acúmulo de P total das forrageiras. Uma vez obtidos esses dados, estimaram-se os seguintes índices:

- Eficiência das Raízes na Absorção do P (ERAP) = [mg de P total acumulado na planta / g matéria seca de raízes] (Swiader et al., 1994);
- Eficiência de Transporte do P Absorvido (ETPA) = [mg de P na parte aérea / mg de P total acumulado na planta] (Li et al., 1991);
- Eficiência de Utilização (EU) = [(g matéria seca total)² / (mg de P acumulado na planta)] (Siddiqi & Glass, 1981);
- Uso Eficiente do P Disponível (UEPD) = [g matéria seca total / mg P disponível para cada solo (P-resina)];

- Eficiência de Aproveitamento do P Aplicado (EAPA) = [(mg P total acumulado na planta / mg P aplicado para cada solo) x 100];
- Eficiência da Fertilização Fosfatada (EFF) = [(eficiência de aproveitamento do P aplicado / 100) x (eficiência de utilização do P)] sendo a eficiência de utilização = [g de matéria seca total / mg de P total acumulado] (Moll et al., 1982).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de média com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (Ferreira, 2000). As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott ($P \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 1, 2, 3 e 4 mostram que as fontes de fósforo e as gramíneas utilizadas afetaram significativamente as variáveis avaliadas. Observa-se na figura 1 A e B, que a produção de matéria seca total (MST) apresentou valores superiores quando as gramíneas foram adubadas com o SFT, em relação ao FRA, à exceção da braquiária e milho, cultivados no Latossolo. Corrêa et al. (2005), comparando o SFT com o fosfato natural de Gafsa, como fontes de P para a cultura do milho em solos com diferentes capacidades de adsorção de P, observaram o mesmo comportamento dessas fontes na produção de matéria seca. Entre as forrageiras, no Cambissolo, o menor valor de MST foi para o sorgo quando adubado com FRA (Figura 1 A). Esse comportamento não foi confirmado no Latossolo, onde a produção de MST dessa gramínea foi maior que as demais para o SFT, e maior que a braquiária para o FRA (Figura 1 B).

O acúmulo de P pela planta é função de seus teores nos tecidos e, principalmente, da produção de matéria seca. Dessa forma, o acúmulo de P total (APT) pelas gramíneas seguiu comportamento semelhante ao da matéria seca total, em função dos tratamentos de fontes de fósforo, para ambos os solos (Figura 1 C e D). Assim, comparando-se as fontes de P dentro de cada forrageira, observa-se que à exceção da braquiária no Latossolo, o acúmulo de P foi sempre superior para o SFT. Verifica-se também para a braquiária e braquiarião, adubados com SFT para ambos os solos, e para ambas as fontes no Latossolo, menores potenciais dessas forrageiras em acumular P, corroborando desta forma, com a afirmativa de Garcia et al. (2004) e Macedo (2004) de que estas forrageiras são menos exigentes em P, quando comparadas ao sorgo e milho.

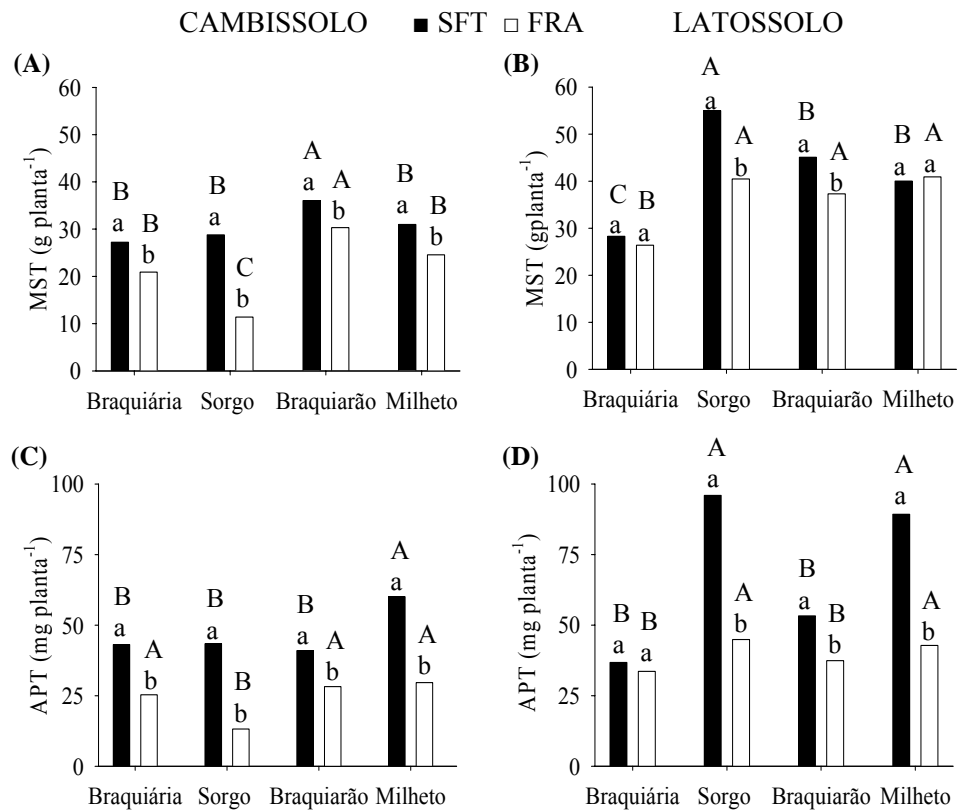


FIGURA 1 Matéria Seca Total (MST) (A e B) e Acúmulo de P Total (APT) (C e D) da Braquiária, Sorgo, Braquiarão e Milheto, adubados com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Importante destacar que quando se utilizou o FRA como fonte de P, a média dos valores encontrados para a MST e APT para as forrageiras, foram, respectivamente, superiores no Latossolo ($38,28 \text{ g planta}^{-1}$ e $39,69 \text{ mg planta}^{-1}$) que no Cambissolo ($21,8 \text{ g planta}^{-1}$ e $24,10 \text{ mg planta}^{-1}$), o que correspondeu a um incremento próximo de 60% para ambas as variáveis. Tal fato pode ser explicado pelo maior dreno de P e de Ca da solução do solo pelo Latossolo, que apresenta maior CTC (que retém o Ca) e fixação de P. Assim, nessas condições, o equilíbrio da equação de dissolução de FRA aplicado foi alterado, aumentando sua dissolução e, conseqüentemente, a disponibilidade de P às plantas. A existência de componentes do solo, ou plantas, atuando como drenos de fósforo e, principalmente de cálcio, é tida como fator preponderante para a dissolução e efetividade dos fosfatos naturais reativos (Chien & Meron, 1995; Novais & Smith, 1999).

Embora o SFT tenha proporcionado maiores acúmulos de P (APT) pelas forrageiras (Figura 1 C e D), esse fato não se repetiu na Eficiência das Raízes na Absorção do P (ERAP, Figura 2 A e B). Observa-se que apenas o milho em ambos os solos e o sorgo no Latossolo mostraram maior ERAP para o SFT em relação ao FRA. Comparando-se as forrageiras dentro da mesma fonte para a ERAP, não se observou um efeito definido entre as espécies estudadas em ambas as fontes de P. Verificou-se, que as médias das forrageiras na ERAP no Cambissolo, foi de 5,75 e 4,72 mg g^{-1} , enquanto no Latossolo, foi de 4,92 e 3,45 mg g^{-1} , para o SFT e FRA, respectivamente. Esses valores mostram que o Latossolo, por apresentar maior teor de argila e menor valor de P-rem, ou seja, maior poder tampão de fosfato do solo, foi o que em média, proporcionou a menor absorção de P aplicado (Figura 2 B).

Na Figura 2 C e D, observa-se que de 60 a 80% do P absorvido e acumulado pelas forrageiras localizam-se na parte aérea das plantas. À exceção do milho no Latossolo, onde o SFT foi superior ao FRA, as demais forrageiras

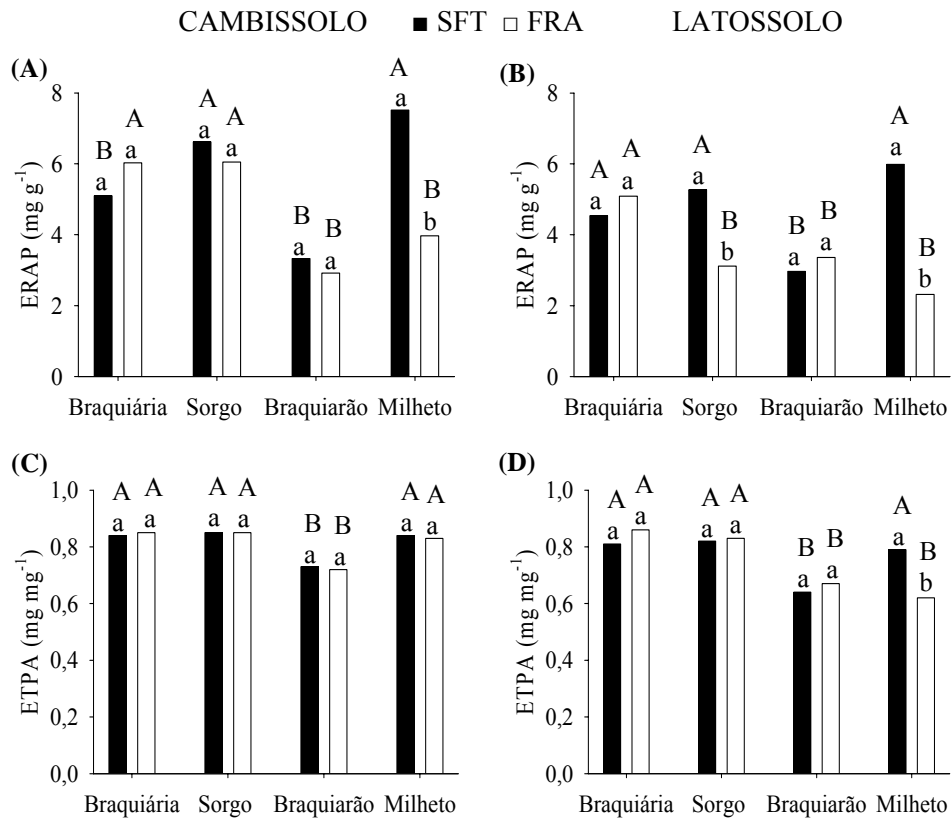


FIGURA 2 Eficiência das Raízes na Absorção do P (ERAP) (A e B) e Eficiência no Transporte do P Absorvido (ETPA) (C e D) da Braquiária, Sorgo, Braquiarão e Milheto, adubados com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

não apresentaram diferença na ETPA para as fontes de P. Comparando-se as forrageiras dentro de cada fonte, o braquiário para ambos os solos e fontes e o milho para o FRA no Latossolo, apresentaram menor ETPA. Se de um lado, para alimentação animal é interessante a forrageira acumular na parte aérea a maior parte do P absorvido, por outro, o maior acúmulo na raiz permite uma maior reciclagem e manutenção do P no solo na forma orgânica.

Para evitar a seleção de plantas eficientes na utilização de nutrientes, porém com baixa produção, Siddiqi & Glass (1981) propuseram o cálculo da eficiência de utilização em função da concentração do nutriente na matéria seca e não pela unidade do mesmo acumulada. Para ambos os solos e fontes de P, de maneira geral, o braquiário se destacou na produção de MST (Figura 1 A e B) e na EU de P (Figura 3 A e B). Mas, essa espécie acumulou relativamente pouco P (Figura 1 C e D) e, também, apresentou menores ERAP (Figura 2 A e B) e ETPA (Figura 2 C e D). Esses dados mostram que o braquiário apresenta, entre as espécies forrageiras estudadas, boa taxa de utilização do P na produção de matéria seca. A exceção do sorgo cultivado no Cambissolo, o FRA foi semelhante ou superior ao SFT na EU de P para as gramíneas. De acordo com Novais & Smyth (1999), os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem favorecer maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas.

Com relação ao uso eficiente do P disponível (UEPD), ou seja, a produção de matéria seca por unidade de P disponível (P-resina) no solo, os menores valores na UEPD foram observados para a braquiária em ambas as fontes de P cultivada no Latossolo e, para o sorgo adubado com FRA no Cambissolo (Figura 3 C e D). De maneira geral, as melhores utilizações do P disponível no solo para a conversão de matéria seca foram observados para o Latossolo. Quando utilizou-se o FRA, as médias dos valores encontrados das gramíneas para UEPD foram de 0,1550 e 0,1025 g mg⁻¹ (51% maior), enquanto

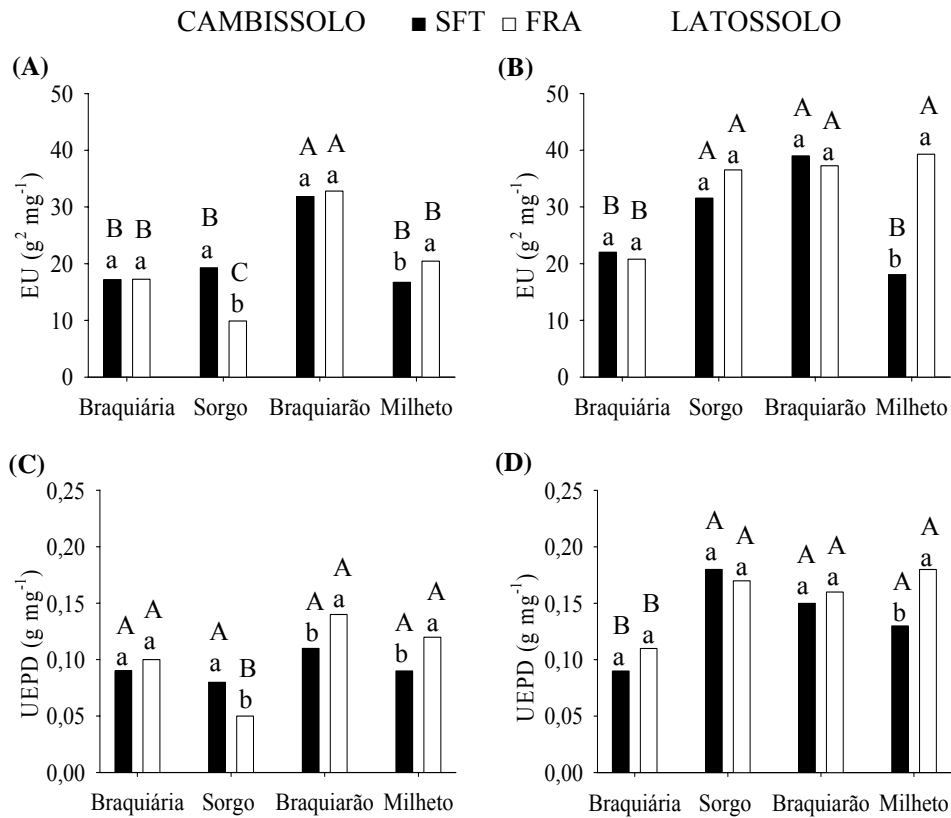


FIGURA 3 Eficiência de Utilização (EU) (A e B) e Uso Eficiente do P Disponível (UEPD) (C e D) da Braquiária, Sorgo, Braquiarão e Milheto, adubados com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

para o SFT, esses valores foram de 0,1375 e 0,0925 g mg⁻¹ (48% maior), respectivamente, para o Latossolo e Cambissolo. O maior dreno de P e de Ca pelo Latossolo explica esse fato, como já discutido anteriormente.

A eficiência de aproveitamento do P aplicado (EAPA) representa o valor percentual do P aplicado aos solos pelas fontes que foi absorvido e acumulado pelas forrageiras. Observa-se na figura 4 A e B, que a EAPA apresentou valores superiores quando as gramíneas foram adubadas com o SFT, à exceção da braquiária, cultivada no Latossolo. Franzini (2006), estudando fontes e modos de aplicação de fontes fosfatadas para o milho conduzido em vasos com um Latossolo Vermelho Amarelo distrófico, também constatou maior aproveitamento do P do SFT.

Verificou-se que as médias das forrageiras, no aproveitamento do P aplicado para o Latossolo, foi de 6,9 e 4,0% e para o Cambissolo, de 7,8 e 4,1%, respectivamente, para o SFT e FRA. Resultados esses, semelhantes aos obtidos por Novelino (1999) e Bonfim et al. (2003), que observaram menor aproveitamento de P com o aumento do poder tampão de fosfato dos solos. Assim, o solo com menor teor de argila e maior valor de P-rem, foi o que, em média, proporcionou os maiores aproveitamentos de P aplicado (Figura 4 A).

Entre as forrageiras, no Cambissolo, a menor EAPA foi para o sorgo quando adubado com FRA (Figura 4 A); comportamento contrário foi observado no Latossolo, onde essa forrageira promoveu maior EAPA, nessa mesma fonte de P. Comparando-se as fontes de P dentro de cada forrageira, observa-se que à exceção da braquiária no Latossolo, o aproveitamento de P foi sempre superior para o SFT. De maneira geral, independentemente da fonte de P utilizada, a eficiência de aproveitamento do P aplicado pelas gramíneas, em ambos os solos, alcançou valores menores que 10%. De acordo com Novais & Smyth (1999), os solos das regiões tropicais, geralmente ácidos e com predominância de argilas

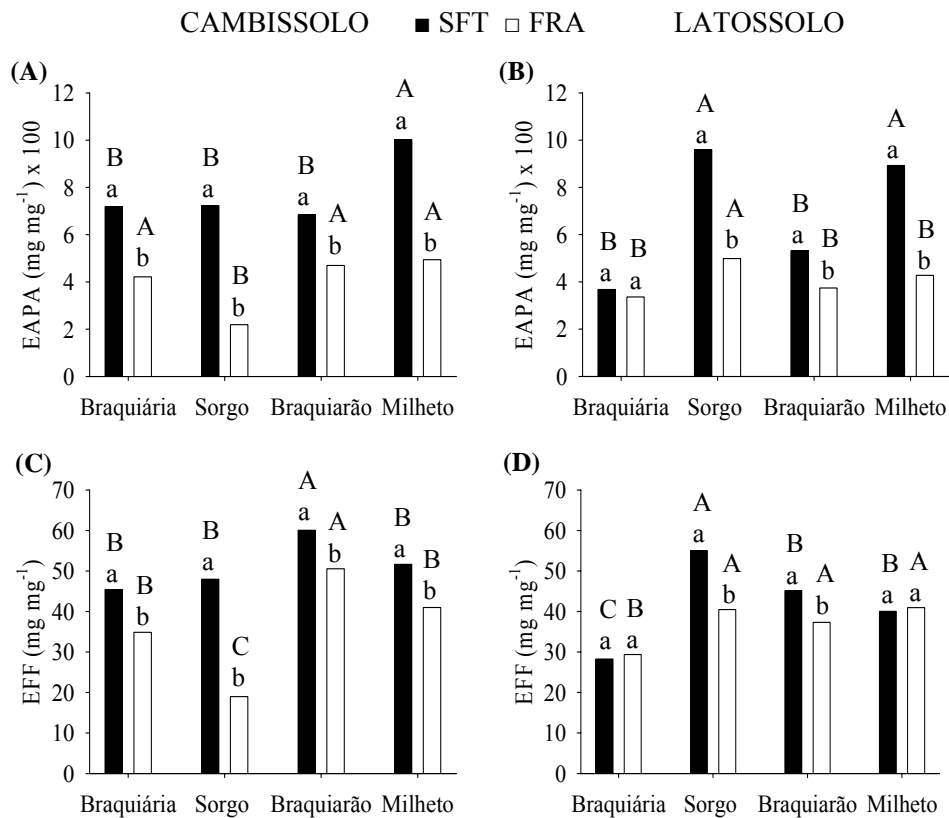


FIGURA 4 Eficiência de Aproveitamento do P Aplicado (EAPA) (A e B) e Eficiência da Fertilização Fosfatada (EFF) (C e D) da Braquiária, Sorgo, Braquiarão e Milheto, adubados com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

sexquioxídicas, atuam com forte dreno do P aplicado com os fertilizantes e reduzem drasticamente a disponibilidade e o aproveitamento do P aplicado pelas plantas.

A eficiência da fertilização fosfatada (EFF) refere-se à produção de matéria seca da planta por unidade do P aplicado pelos fertilizantes (Figura 4 C e D). O comportamento da EFF foi semelhante à produção de MST (Figura 1 A e B), ou seja, em ambos os solos, a EFF apresentou valores superiores quando as gramíneas foram adubadas com o SFT em relação ao FRA, à exceção da braquiária e milho no Latossolo. Entre as forrageiras, o menor valor de EFF foi para o sorgo adubado com FRA no Cambissolo e para a braquiária em ambas as fontes de P, para o Latossolo.

As médias das forrageiras para EFF, no Latossolo foi de 42,11 e 36,33 mg mg⁻¹ e para o Cambissolo, foi de 51,27 e 37,03 mg mg⁻¹, respectivamente para o SFT e FRA. Esses valores mostram, ao contrário da MST, que o Cambissolo propiciou maior EFF, ou seja, maior produção de matéria seca total pelas gramíneas por unidade de P aplicado, embora, nesse solo, tenha havido menor acúmulo de P pelas plantas (Figura 1 C). Esse fato pode ser explicado pela menor aplicação de P no Cambissolo (150 mg dm³) do que no Latossolo (250 mg dm³) e pela menor fixação do fosfato no solo mais arenoso. Esse resultado está de acordo com Scivittaro (1993), que obteve maior aproveitamento do P do fertilizante pelo milho em solo com menor capacidade de retenção de fosfatos.

Nesse contexto, práticas mais efetivas e eficientes de conservação do solo e espécies com maior capacidade de absorver e utilizar o fósforo seriam mais desejáveis, pois, além de reduzir a preocupação da degradação e melhor aproveitarem o nutriente fornecido via fertilizantes, menores quantidade desses poderiam ser aplicados.

4 CONCLUSÕES

Para a fonte menos solúvel (FRA), as médias encontradas para matéria seca total, acúmulo de P total, eficiência de utilização e uso eficiente do P disponível para as forrageiras, foram sempre maiores quando cultivadas no Latossolo, indicando condições favoráveis para a solubilização do fosfato reativo.

As gramíneas mostraram diferenças no potencial de aproveitamento do P, em função das fontes de P aplicadas e dos solos utilizados. Menos de 10% do P aplicado foi imobilizado na matéria seca das gramíneas, sendo os maiores valores observados para o SFT; mas isso não se refletiu em maior eficiência de uso de P dessa fonte.

De maneira geral, o braquiarão apresentou boa produção de massa com baixo acúmulo de P, o que conferiu à forrageira boa eficiência de utilização de P para ambas as fontes e solos.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. da. Definição de doses de fósforo para determinação da capacidade máxima de adsorção de fosfatos e para ensaios em casa de vegetação. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 14, p. 49-55, 1990.

ALVAREZ, V., V. H.; FONSECA, D. M. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Viçosa, MG: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v.25, p.27-33. (Boletim Informativo).

BALIGAR, V. C.; FAGERIA, N. K. Plant nutrient efficiency: towards the second paradigm. In: SIQUEIRA, J. O.; MOREIRA, F. M. S.; LOPES, A. S.; GUILHERME, L. R. G.; FAQUIN, V.; FURTINI NETO, A. E.; CARVALHO, J. G. (Ed.). **Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas**. Viçosa, MG: SBCS/Lavras, MG: UFLA/DCS, 1999. 819p.

BERNARDI, A. C. C.; MACHADO, P. L. O. A.; FREITAS, P. L.; COELHO, M. R.; LEANDRO, W. M.; OLIVEIRA JÚNIOR, J. P.; OLIVEIRA, R. P.; SANTOS, H. G.; MADARI, B. E.; CARVALHO, M. C. S. **Correção do solo e adubação no sistema de plantio direto nos cerrados**. Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2003. 22 p. (Embrapa Solos. Documentos, 46).

BONFIM, E. M. S.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, p. 323-328, 2003.

CALEGARI, A.; ALCÂNTRA, P. B.; MIYASAKA, S.; AMADO, T. J. C. Aspectos gerais da adubação verde. In: COSTA, M. B. B. (Ed.). 2.ed. **Adubação verde no sul do Brasil**. Rio de Janeiro: AS-PTA, 1993. p.1-58.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v. 41, p. 277-234, 1995.

CHOUDHARY, M.; PECK, T. R.; PAUL, L. E.; BAILEY, L. D. Longterm comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 74, p. 303-310, 1994.

COBUCCI, T. Manejo integrado de plantas daninha em sistema de plantio direto. In: ZAMBOLIM, L. (Ed.). **Manejo integrado fitossanidade: cultivo protegido, pivô central e plantio direto**. Viçosa, MG UFV, 2001. 722p.

CORRÊA, R. M.; NASCIMENTO, C.W.A.; SOUZA, S. K. S; FREIRE, F. J.; SILVA, G. B.; Gafsa rock phosphate and triple superphosphate for dry matter production and P uptake by corn. **Scientia Agrícola**, v. 62, p. 159-164, 2005.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370 p.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FOTYMA, M.; HAMMOND, L.; KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. **Fertilizer Research**, v. 43, p. 83-86, 1996.

FRANZINI, V. **Efeito do superfosfato triplo (³²P) na absorção do fósforo do fosfato natural pelas plantas de milho e soja**. 2006. 202 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz.

GARCIA, R.; ROCHA, F. C.; BERNARDINI, F. S.; GOBBI, K. F. Forrageiras utilizadas no sistema integrado agricultura-pecuária. In: ZAMBOLIM, L.; SILVA, A. A. da; AGNES, E. L. (Ed.). **Manejo integrado: integração agricultura-pecuária**. Viçosa: UFV/DFP/DFT, 2004. p. 331-352.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influencia do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. 1994. 226 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 665-688.

LANDERS, J. N. **Zero tillage development in tropical Brazil – the story of a successful NGO activity**. Rome: FAO, 2001. 69 p. (FAO. Agricultural Services Bulletin, 147).

LANGE, A.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Matéria seca e ciclagem de nutrientes na palha em solo arenoso em sistema semeadura direta no cerrado. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Resumos...** Lages-SC: UDESC, 2004. CD-ROM.

LI, B.; McKEAND, S. E.; ALLEN, H. L. Genetic variation in nitrogen use efficiency of loblolly pine seedlings. **Forest Science**, v. 37, p. 613-626, 1991.

MACEDO, M. C. M. Adubação fosfatada em pastagens cultivadas com ênfase na região do cerrado. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. (Ed.). **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: POTAFOS, 2004. p. 359-400.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações**. 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319 p.

MENEZES, L. A.; SOUTO JÚNIOR, M. L.; LEANDRO, W. M. Efeitos de coberturas verdes, com potencial de utilização em sistema de plantio direto, na variabilidade espacial de nutrientes no solo. In: FERTBIO, 2002, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro: UFRRJ, 2002. CD-ROM.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v. 74, p. 562-564, 1982.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais**. Viçosa: UFV, 1999. 399p.

NOVELINO, J. O. **Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliadas por extratores químicos e crescimento vegetal**. 1999. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

RAIJ, B. van. **Fertilidade do solo e adubação**. Piracicaba, Ceres, 1991. 343 p.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct applications to soils. **Advances in Agronomy**, v.57, p.77-159, 1996.

SÁ, J. C. de M. **Manejo da fertilidade do solo no sistema plantio direto.** In: _____. Inter-relação fertilidade, biologia do solo e nutrição de plantas. Viçosa: SBCS/Lavras: UFLA/DCS, 1999. p.291-309.

SCIVITTARO, W. B. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos.** 1993. 111p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SIDDIQI, M. Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v. 4, p. 289-302, 1981.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado.** Piracicaba, 2003. 16 p. (Informações Agrônômicas. Encarte Técnico, 102).

SOUZA, R. F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro.** 2005. 141p. Tese (Doutorado)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SWIADER, J. M.; CHYAN, Y.; FREIJI, F. G. Genotypic differences in nitrate uptake and utilization efficiency in pumpkin hybrids. **Journal of Plant Nutrition**, v. 7, p. 1687-1699, 1994.

CAPÍTULO II

APROVEITAMENTO DE FÓSFORO E RENDIMENTO DA SOJA E DO FEIJOEIRO CULTIVADOS EM SUCESSÃO A GRAMÍNEAS FORRAGEIRAS ADUBADAS COM SUPERFOSFATO TRIPLO E FOSFATO REATIVO DE ARAD

RESUMO

RAMOS, Sílvio Júnio. Aproveitamento de fósforo e rendimento da soja e do feijoeiro cultivados em sucessão a gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad. In: _____. **Produção e utilização de fósforo por gramíneas forrageiras adubadas com fertilizantes fosfatados e pela soja e feijoeiro cultivados em sucessão.** 2007. Cap. 2, p.31-58. Dissertação (Mestrando em Ciência do Solo)–Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG¹.

O presente trabalho objetivou avaliar em dois solos distintos adubados com fontes de fósforo de diferentes solubilidades, o aproveitamento de fósforo e o rendimento da soja e do feijoeiro cultivados em sucessão a diferentes gramíneas forrageiras. Para tal, conduziram-se quatro experimentos, dois em cada solo (Cambissolo e Latossolo). O delineamento experimental utilizado para cada solo e leguminosa foi inteiramente casualizado, em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco tratamentos de cobertura dos solos, representados pelo cultivo prévio de quatro gramíneas forrageiras como plantas de cobertura (*Brachiaria decumbens* - braquiária, *Brachiaria brizantha* - braquiaraço, *Pennisetum glaucum* - milho e *Sorghum bicolor* - sorgo forrageiro) mais o solo sem cultivo e duas fontes de P de diferentes solubilidades (Superfosfato triplo - SFT e Fosfato reativo de Arad - FRA), com quatro repetições. As gramíneas forrageiras foram colhidas na fase de pré-florescimento, sendo em seguida cultivados sobre as raízes e palhada das mesmas, a soja e o feijoeiro como culturas de sucessão, até o final do ciclo. No Cambissolo, solo mais arenoso, quando adubado com a fonte de P de menor solubilidade (FRA), o cultivo prévio das forrageiras promoveu na soja e no feijoeiro cultivados em sucessão, maiores crescimento, produção e aproveitamento do efeito residual do P aplicado; o mesmo não foi observado no Latossolo, mais argiloso. Para a fonte solúvel (SFT), o cultivo prévio das gramíneas não afetou essas variáveis na soja e no feijoeiro cultivados no Cambissolo e, de maneira geral, no Latossolo, foi prejudicial, quando comparado com o tratamento sem cultivo. Dentre as gramíneas estudadas, não se observou efeito definido do seu cultivo prévio sobre as variáveis avaliadas na soja e no feijoeiro cultivados em sucessão.

¹Comitê Orientador: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (Orientador), Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Co-orientador)

ABSTRACT

RAMOS, Silvio Júnio. Use the phosphorus and the soybean and bean plant yield grown in succession to forage grasses fertilized with triple superphosphate and Arad reactive phosphate. In: _____. **Production and utilization of phosphorus for forage grasses fertilized with phosphorus sources and for the soybean and bean plant grown in succession.** 2007. Chap.2, p. 31-58. Dissertation (Master in Soil Science) – Federal University of Lavras, Lavras, MG¹.

The present work was carried out to evaluate in two different soils fertilized with different phosphorus sources the use of phosphorus and the soybean and bean plant yield grown in succession to forage grasses fertilized with triple superphosphate (TSP) and Arad reactive phosphate (ARP). Two experiments were conducted, one under a Inceptsol (*Cambisol*) and the other under Oxisol (*Latosol*). The experimental were carried out in a completely randomized design in a 5 x 2 factorial scheme, the five treatments being of soil cover, represented by the previous cultivation of the four forage plants (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Pennisetum glaucum* and *Sorghum bicolor*), plus the soil without cultivation and two sources of P (TSP and ARP). The cover forage plants were harvested in the flowering, being cultivated following on straw and root, the soybean and bean plant as succession culture, the plants were harvested after they had completed the development cycle. In Inceptsol, when fertilized with the lower solubility (ARP) P source, the previous cultivation of the forage plants promoted larger growth, production and use of the residual effect of applied P in the soybean and in the bean plant cultivated in succession; the same was not observed in Oxisol. For the soluble source (TSP), the previous cultivation of the forage grasses didn't affect those variables in the soybean and bean plant cultivated in Inceptsol and, in a general way, in Oxisol, it was harmful, when compared with the treatment without cultivation. Among the forage grasses studied, a defined effect of their previous cultivation on the evaluating variables in the soybean and bean plant cultivated in succession was not observed.

¹Guidance Committee: Prof. Valdemar Faquin – DCS/UFLA (adviser), Dr. Carlos Ribeiro Rodrigues (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

O cultivo do feijoeiro e, principalmente da soja, encontram-se em notável expansão nas fronteiras agrícolas, essencialmente nas regiões centro-oeste e sudeste do Brasil. Grande parte dos solos dessas regiões são de Cerrado, sendo, portanto, muito deficientes em P e, devido ao pH ácido e predominância de argilas sexquioxídicas, a fixação de fosfatos e precipitação por Fe e Al são elevadas, o que reduz drasticamente a disponibilidade e o aproveitamento pelas plantas do P aplicado (Novais & Smith, 1999). E, com isso, torna-se necessário o estabelecimento de estratégias mais eficientes no tipo de cultivo e fontes de adubação visando à máxima produção por unidade de P aplicado ao solo.

Nas condições de clima e solo de Cerrado, o emprego do sistema de plantio direto (SPD) ou da integração lavoura-pecuária tem surgido como uma alternativa para a recuperação dos solos dessas regiões; no entanto, ainda carece de informações sobre espécies para cobertura, as quais devem ter boa produção de biomassa e ser suficientemente persistentes para a proteção física do solo e disponibilização de nutrientes para a cultura posterior.

Nesse sentido, a integração entre lavouras anuais e pastagens tem surgido como uma alternativa para a recuperação dos solos degradados pela atividade agropecuária (Severino, 2005). Nesse sistema, torna-se mais fácil a produção de gramíneas forrageiras na época crítica do ano, isto é, no período de seca, além de viabilizar o desenvolvimento de duas atividades, pois, promove a rotação de culturas, a qual, além de contribuir para a proteção e conservação da água e do solo, é essencial na viabilização da semeadura direta (Broch et al., 1997). Segundo Lange et al. (2004), espécies como milheto, braquiária e sorgo forrageiro têm demonstrado importante papel na integração lavoura-pecuária, aumentando a produção de palhada na região do Cerrado.

Francisco (2002) e Seguatelli (2004) verificaram que a adubação fosfatada da soja antecipada para o capim pé-de-galinha, além de proporcionar maior produção de fitomassa da planta de cobertura, não alterou a produção de grãos da soja. Oliveira et al. (2002) e Nunes et al. (2006) demonstraram que a espécie produtora de palha exerceu grande influência no rendimento de grãos do feijoeiro. Entretanto, Carvalho (2000) e Silva et al. (2004) verificaram que diferentes coberturas vegetais não influenciaram na produtividade do feijoeiro. Segundo Igue (1984), as gramíneas possuem maior volume de raiz, melhorando a porosidade e agregação do solo, além de representar a melhor alternativa na associação com leguminosas comerciais. Assim, Broch (2000), Pitol et al. (2001) e Kluthcouski & Stone (2003) relatam que em diversas áreas de cerrado, a soja e o feijoeiro apresentaram maiores produções sobre palhada de plantas do gênero *Brachiaria*, principalmente em sucessão à *Brachiaria brizantha*.

Atualmente, a adubação fosfatada em sistema de plantio direto é feita totalmente em superfície e com uso de fontes solúveis como o superfosfato triplo, superfosfato simples e monoamônio fosfato. Recentemente, têm sido avaliadas fontes reativas, como o fosfato de Arad. Esses fosfatos, além de apresentarem custo inferior, apresentam no primeiro ano, resultados equivalentes ao do superfosfato triplo (Rajan et al., 1996; Sousa & Lobato, 2003; Horowitz & Meurer, 2004), tanto em solos com teores iniciais médios de P (Choudhary et al., 1994), quanto naqueles com teores baixos (Fotyma et al., 1996). Segundo Novais & Smyth (1999), os fertilizantes de menor reatividade, ao disponibilizarem mais lentamente o P, minimizam os processos de fixação e podem favorecer a maior eficiência de utilização do nutriente pelas culturas.

Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho foi avaliar o efeito do cultivo prévio de gramíneas forrageiras adubadas com superfosfato triplo e fosfato reativo de Arad sobre o aproveitamento de fósforo e o rendimento da soja e do feijoeiro, cultivados em sucessão.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram realizados quatro experimentos em casa de vegetação no Departamento de Ciência do Solo da Universidade Federal de Lavras, sendo dois com o cultivo da soja e dois com o feijoeiro, em vasos com 4 dm³. Utilizaram-se amostras (0 - 20 cm) de um Cambissolo Háptico Tb distrófico típico textura média e um Latossolo Vermelho distrófico típico textura muito argilosa. Em ambos os solos, cultivaram-se previamente gramíneas forrageiras como plantas de cobertura, adubadas com fontes de fósforo de diferentes solubilidades e, posteriormente, nos mesmos vasos, cultivaram-se a soja e o feijoeiro como culturas de sucessão, sobre as raízes e palhada das forrageiras.

As análises físicas e químicas dos solos, conforme método descrito pela Embrapa (1999), e mineralógicas conforme Giarola (1994) para o Cambissolo e Souza (2005) para o Latossolo, apresentaram os seguintes resultados, respectivamente: teor de argila: 29 e 70 dag kg⁻¹; pH em água: 5,4 e 4,7; MOS: 2,1 e 4,9 dag kg⁻¹; P (Mehlich): 0,6 e 0,9 mg dm⁻³; K: 20 e 20 mg dm⁻³; Ca: 0,7 e 0,6 cmol_c dm⁻³; Mg: 0,2 e 0,2 cmol_c dm⁻³; Al: 0,7 e 1,1 cmol_c dm⁻³; H+Al: 2,3 e 7,0 cmol_c dm⁻³; P-rem: 25,2 e 10,2 mg L⁻¹; Fe₂O₃: 23,0 e 171,8 g kg⁻¹; Al₂O₃: 155,0 e 319,1 g kg⁻¹.

O delineamento experimental utilizado, para ambas as leguminosas e solos, foi inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 2, sendo cinco tratamentos de cobertura dos solos, representados pelo cultivo prévio de quatro forrageiras (*Brachiaria decumbens* – braquiária, *Brachiaria brizantha* – braquiaraço, *Pennisetum glaucum* - milheto e *Sorghum bicolor* - sorgo forrageiro), mais o solo sem cultivo prévio de forrageiras e duas fontes de P (Superfosfato Triplo – SFT, com 46,1% de P₂O₅ total; e Fosfato Reativo de Arad – FRA, com 33,1% de P₂O₅ total), com quatro repetições. Os solos sem cultivo foram representados pelos dois solos adubados com as duas fontes de P, na mesma época da implantação das forrageiras, mas que não foram cultivados, permanecendo, portanto, em pousio durante o cultivo prévio das forrageiras.

Antes do cultivo das gramíneas, com base na análise química dos solos, foi efetuada a calagem visando a elevar a saturação por bases a 50%, utilizando-se calcário dolomítico calcinado e micropulverizado, com 35% de CaO, 14% de MgO e PRNT = 100%.

Após incubação dos solos por 20 dias com umidade próxima a 60% do volume total de poros (VTP), as fontes de fósforo foram incorporadas nas doses de 150 e 250 mg dm⁻³ de P para o Cambissolo e Latossolo, respectivamente, com base no P total de cada fonte. Antes de ser incorporado aos solos, o SFT foi moído em granulometria aproximada ao FRA. Assim, o Latossolo, sendo mais argiloso e com características mineralógicas mais favoráveis à adsorção específica de P, recebeu dose maior do nutriente. Juntamente com a adubação fosfatada foi efetuada uma adubação com 80 mg de N; 80 mg de K; 60 mg de S; 0,5 mg de B; 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm³ de solo, na forma de solução nutritiva, utilizando as seguintes fontes p.a.: NH₄NO₃, KNO₃, (NH₄)₂SO₄, H₃BO₃, CuSO₄.5H₂O e ZnSO₄.7H₂O.

Após a aplicação das fontes de P, foram retiradas subamostras nos dois solos para análise química (Tabela 1). Em seguida, foram semeadas 10 sementes por vaso de cada forrageira, e desbastadas para quatro plântulas uma semana após a emergência. Durante o cultivo, as forrageiras receberam adubações nitrogenada e potássica em cobertura, aplicando-se 400 mg dm⁻³ de cada nutriente para a braquiária e braquiário e 500 mg dm⁻³ de cada nutriente para o sorgo e milho, parceladas em sete aplicações. A umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada, inclusive para os vasos do tratamento sem o cultivo das forrageiras.

As forrageiras foram cultivadas até a fase de pré-florescimento, quando a parte aérea foi cortada a dois centímetros da superfície do solo; em seguida, foram secas em estufa a 65-70°C até peso constante e picadas em pedaços de dois a cinco centímetros, sendo depositadas na superfície dos solos dos vasos correspondentes, na dose de 8 t ha⁻¹ de matéria seca (Corrêa et al., 2004), correspondendo a 27,7 g vaso⁻¹.

TABELA 1 Características químicas do Latossolo Vermelho distrófico típico e Cambissolo Háplico Tb distrófico típico após a calagem, aplicação das fontes de fósforo e da adubação básica.

Características	Latossolo		Cambissolo	
	SFT	FRA	SFT	FRA
pH H ₂ O (1:2,5)	5,2	5,1	5,3	5,4
P (Mehlich) (mg dm ⁻³)	30,9	108	45,9	96,9
P-resina (mg dm ⁻³)	76,2	58,1	87,4	53,2
K (mg dm ⁻³)	90	86	76,0	86
Ca (cmol _c dm ⁻³)	2,9	2,9	1,3	1,6
Mg (cmol _c dm ⁻³)	1,0	1,0	0,7	0,3
Al (cmol _c dm ⁻³)	0,3	0,2	0,2	0,2
H+Al (cmol _c dm ⁻³)	5,6	5,6	2,1	1,9
SB (cmol _c dm ⁻³)	4,1	4,1	2,2	2,1
t (cmol _c dm ⁻³)	4,3	4,3	2,4	2,3
T (cmol _c dm ⁻³)	9,7	9,7	4,3	4,0
V (%)	42,4	42,4	51,0	52,7
m (%)	7,0	5,0	8,0	9
MOS (dag kg ⁻¹)	4,8	4,8	2,2	0,9
P-rem (mg L ⁻¹)	10,9	9,7	26,8	25,2

P e K – Extrator Mehlich I; Ca, Mg e Al – Extrator KCl 1mol L⁻¹; H+Al – Extrator SMP; SB – Soma de Bases; (t) – CTC efetiva; (T) – CTC potencial (a pH 7,0); V – saturação por bases; m – saturação por alumínio; MO – oxidação Na₂Cr₂O₇ 0,67 mol L⁻¹ + H₂SO₄ 5 mol L⁻¹ (Embrapa, 1999). P-rem – Fósforo remanescente (Alvarez V. & Fonseca, 2000)

Após a deposição da palhada nos vasos, foi efetuada adubação básica na forma de solução nutritiva com 70 mg de N; 50 mg de K; 30 mg de S; 0,5 mg de B; 1,5 mg de Cu e 5 mg de Zn por dm³, usando as mesmas fontes p.a. citadas para as forrageiras.

Em seguida, foram semeadas nos vasos pertinentes, 10 sementes de soja e 10 sementes de feijão, sendo desbastadas para duas plântulas uma semana após a emergência. Até a fase de florescimento da soja e do feijoeiro, foram aplicados em cobertura 230 mg de N; 200 mg de K e 30 mg de S por dm³, parcelados em cinco aplicações. Durante todo o período experimental, a umidade do solo foi mantida a 60% do VTP, por meio da pesagem dos vasos e adição de água deionizada.

A colheita da soja e do feijoeiro foi feita no final do ciclo, secando-se o material vegetal em estufa a 65-70 °C, para obtenção da matéria seca da parte

aérea (folhas + caule) e dos grãos, nas quais foram realizadas análises químicas para o P de acordo com Malavolta et al. (1997). Relacionando-se os teores de P com a matéria seca produzida, foi determinado o acúmulo de P total (parte aérea + grãos) da soja e do feijoeiro. Uma vez obtidos esses dados, para ambas as leguminosas, estimaram-se os seguintes índices:

- Eficiência de Utilização (EU) = $[(g \text{ matéria seca total})^2 / (mg \text{ de P total acumulado})]$, bem como o índice de utilização (Siddiqi & Glass, 1981);
- Eficiência de Aproveitamento do P Aplicado (EAPA) = $[(mg \text{ P total acumulado}) / (mg \text{ de P aplicado em cada solo} - mg \text{ de P total acumulado nas gramíneas}) \times 100]$;
- Eficiência da Fertilização Fosfatada (EFF) = $[(\text{eficiência de aproveitamento do P aplicado} / 100) \times (\text{eficiência de utilização do P})]$ sendo a eficiência de utilização = $[(g \text{ matéria seca total}) / mg \text{ P total acumulado}]$ (Moll et al., 1982).

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância e testes de média com o auxílio do programa estatístico SISVAR[®] (Ferreira, 2000). As médias dos tratamentos componentes do fatorial foram comparadas entre si pelo teste de Scott Knott ($P \leq 0,05$).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As figuras 1, 2, 3, 4, 5 e 6 mostram que as fontes de P e o cultivo prévio das gramíneas, nos dois solos, afetaram significativamente as variáveis avaliadas da soja e do feijoeiro cultivados em sucessão. A figura 1 A e B mostra que, para ambos os solos, o tratamento sem o cultivo prévio das forrageiras promoveu maior produção de MSPA da soja apenas com o SFT. Enquanto para o feijoeiro (Figura 1 C e D), o tratamento sem cultivo prévio das forrageiras promoveu maior produção de MSPA apenas para o Latossolo adubado com SFT. Esses resultados mostram que, à exceção do Cambissolo adubado com SFT para o feijoeiro, o cultivo prévio das gramíneas de cobertura não influenciou o efeito residual das fontes de P para o cultivo subsequente das leguminosas.

De maneira geral, para ambos os solos e fontes de P, observou-se que o cultivo prévio das forrageiras não afetou a produção de MSPA das leguminosas, à exceção da soja cultivada em sucessão ao milho no Cambissolo adubado com FRA (Figura 1 A), que foi superior às demais gramíneas e, para o cultivo prévio do braquiário no Latossolo adubado com FRA, que promoveu menor MSPA para o feijoeiro (Figura 1 D).

Dentro de cada gramínea, também não se observou diferença entre as fontes de P para a MSPA das leguminosas, à exceção do cultivo prévio do sorgo para a soja (Figura 1 B) e do milho para o feijoeiro (Figura 1D), ambos para o Latossolo, nos quais o FRA foi superior ao SFT. Richart et al. (2006), antecipando a adubação fosfatada na cultura do milho, em um Latossolo Vermelho eutroférico, verificaram superioridade do superfosfato triplo em relação ao fosfato natural reativo na produção de matéria seca total da soja. No entanto, esses mesmos autores observaram, para a produtividade de grãos, diferença não significativa entre as fontes, mostrando que os fosfatos se

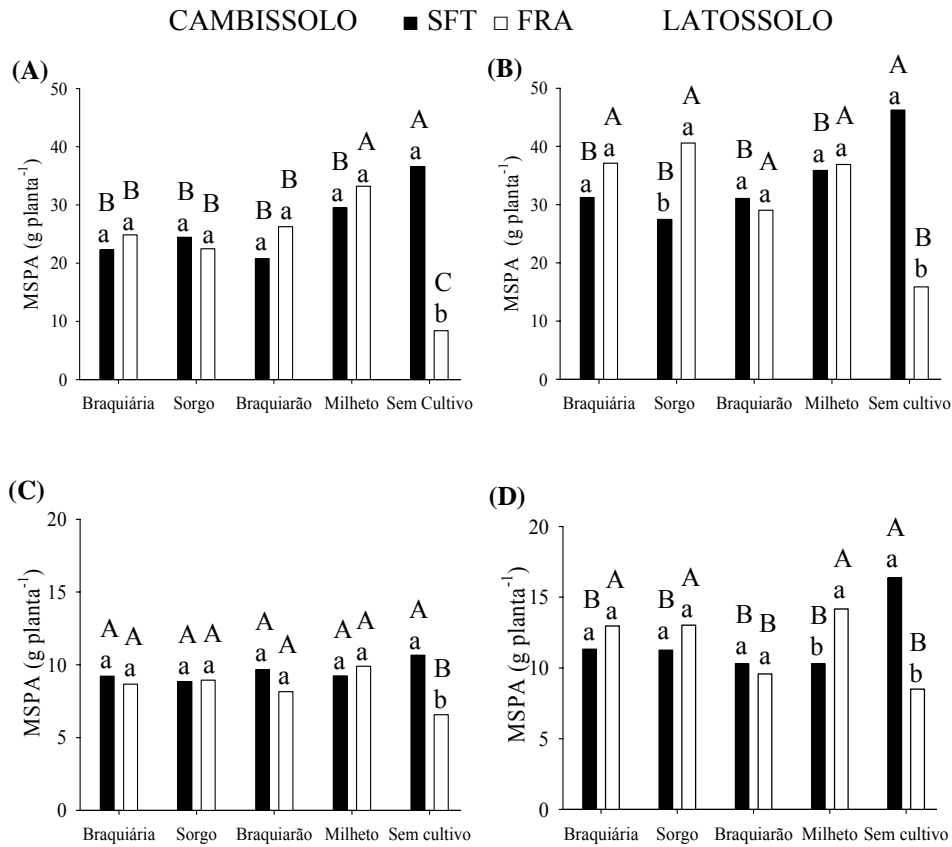


FIGURA 1 Matéria Seca da Parte Aérea (MSPA) da soja (A e B) e do feijoeiro (C e D) cultivados em sucessão a gramíneas de cobertura e em solo sem cultivo, adubadas com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

equivaleram no fornecimento de P para as plantas. Korndörfer et al. (1997), trabalhando com fosfatos naturais farelados de Arad, Marrocos e Gafsa, obtiveram resultados similares aos do superfosfato triplo granulado no cultivo do milho em solos de Cerrado. Esses resultados corroboram com diversos trabalhos nos quais têm-se indicações de que os fosfatos naturais reativos podem ser bastante efetivos em suprir fósforo às culturas, uma vez que são uma fonte de liberação controlada de fósforo (Horowitz & Meurer, 2004; Sousa & Lobato, 2003).

A produção de grãos (PG) da soja e do feijoeiro (Figura 2) apresentou comportamento semelhante a MSPA, onde se observa que o tratamento sem o cultivo prévio das forrageiras promoveu maior produção de grãos apenas com o SFT em ambos os solos para a soja (Figura 2 A e B) e no Latossolo para o feijoeiro (Figura 2 C e D).

Dentro da mesma fonte, para ambos os solos, as forrageiras não influenciaram a PG das leguminosas, à exceção do braquiário adubado com FRA no Cambissolo para a soja (Figura 2 A) e no Latossolo para o feijoeiro (Figura 2 D), onde se observou menor PG que o cultivo prévio das demais gramíneas. Torres (2003) não verificou diferença significativa na produção de grãos da soja quando cultivada em sucessão a oito tratamentos de cobertura do solo. Da mesma forma, Francisco (2002) e Seguatelli (2004), observaram que o cultivo da soja em sucessão a *Eleusine coracana* não alterou a produção de grãos da soja. Resultados semelhantes para o feijoeiro foram observados por Arf et al. (1999) e Carvalho (2000), os quais mencionam que essa espécie cultivada em sucessão não sofreu influência na produtividade de grãos. No entanto, resultados positivos, utilizando-se o cultivo prévio de diferentes plantas de cobertura, contribuíram para o aumento da produtividade do feijoeiro, tais como: o capim marmelada (Lollato et al., 2002), capim braquiária (Oliveira et al., 2002; Lollato et al., 2002; Nunes et al., 2006), *Panicum maximum* (Nunes et

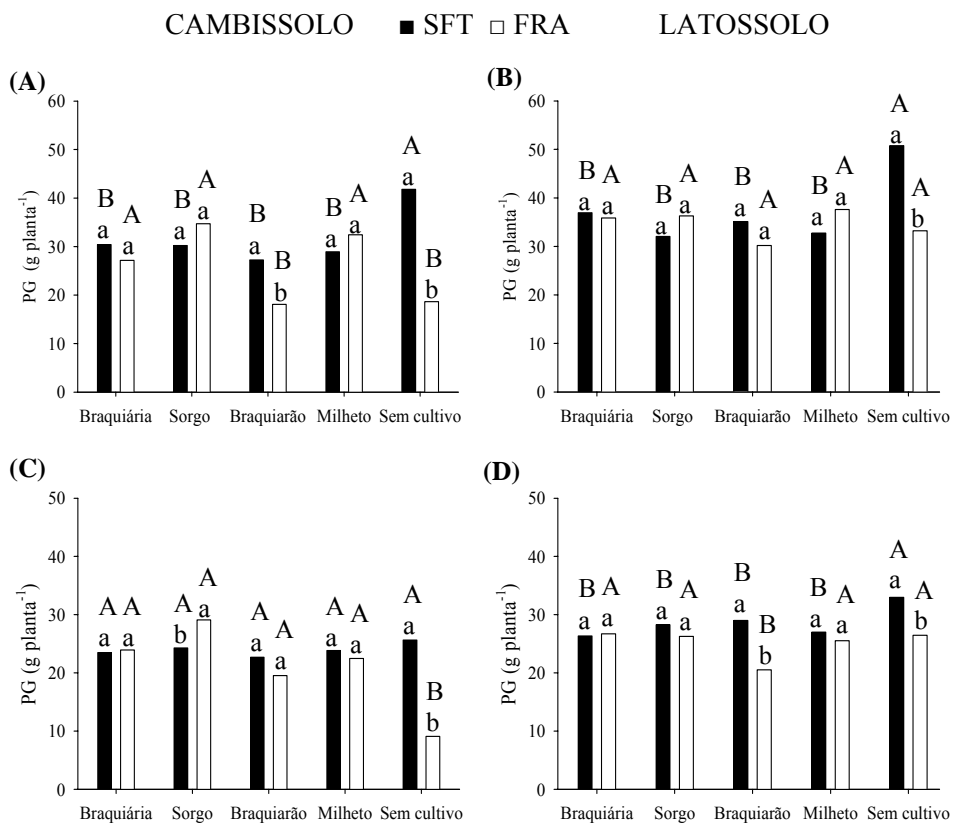


FIGURA 2 Produção de Grãos (PG) da soja (A e B) e do feijoeiro (C e D) cultivados em sucessão a gramíneas de cobertura e em solo sem cultivo, adubadas com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no CambiSSOLO e LatoSSOLO. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

al., 2006), por produzirem quantidade suficiente de matéria seca para viabilizar o sistema de plantio direto de feijão.

Dentro da mesma forrageira, para o cultivo da soja, apenas o braquiário no Cambissolo promoveu diferença entre as fontes de P, sendo a maior PG obtida com o SFT (Figura 2 A). Da mesma forma para o feijoeiro, apenas o FRA para o sorgo no Cambissolo (Figura 2 C) e o SFT para o braquiário no Latossolo (Figura 2D) promoveram maior PG. Peruzzo & Wiethölter (1999), utilizando fosfatos naturais reativos, verificaram rendimento nos grãos da soja semelhante ao obtido com superfosfato triplo, no primeiro cultivo em um solo com teor médio de P.

O acúmulo de P pela planta é função de seus teores nos tecidos e, principalmente, da produção de matéria seca. Dessa forma, o acúmulo de P total pela soja e pelo feijoeiro (Figura 3), apresentou comportamento semelhante ao da MSPA e PG, em função dos tratamentos de fontes de P e cultivo ou não de forrageiras de cobertura, em ambos os solos. Para ambas as fontes de P aplicadas e tratamentos de cobertura do solo, a média no acúmulo de P total foi maior no Latossolo (176,4 e 127,9 mg planta⁻¹) que no Cambissolo (140,7 e 94,7 mg planta⁻¹), para a soja e feijoeiro, respectivamente. Esse fato pode ser explicado pela maior dose de P aplicada no Latossolo (250 mg dm³) do que no Cambissolo (150 mg dm³). Resultado esse que corrobora com Souza et al. (2006), onde verificaram maior acúmulo de P pelas plantas do feijoeiro, cultivadas em solos mais argilosos e com menores valores de P-rem.

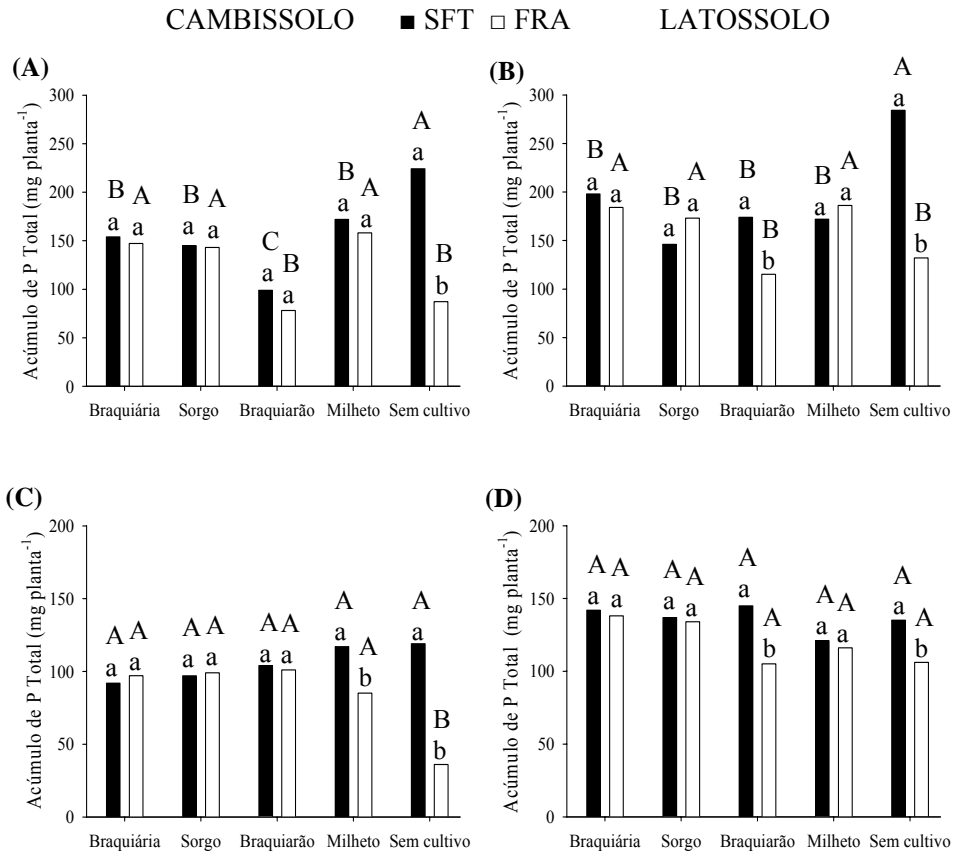


FIGURA 3 Acúmulo de P Total da soja (A e B) e do feijoeiro (C e D) cultivados em sucessão a gramíneas de cobertura e em solo sem cultivo, adubadas com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Importante destacar que a MSPA, a PG e o acúmulo de P total pela soja e pelo feijoeiro, quando cultivados no Cambissolo adubado com FRA (Figura 1 A, 1 C, 2 A, 2 C, 3 A e 3 C), em geral, foram superiores nos tratamentos em que houve o cultivo prévio das forrageiras em relação ao tratamento sem cultivo prévio. É importante observar, também, para ambas as leguminosas e solos, no tratamento sem cultivo, para estas variáveis, que o SFT foi sempre superior ao FRA, fato não observado nos tratamentos em que houve o cultivo prévio das gramíneas. Isso pode ser decorrente do maior dreno de P e de Ca da solução do solo pelas gramíneas antecessoras e pelo Latossolo que apresenta maiores CTC (que retém o Ca) e fixação de P. Assim, nessas condições, o equilíbrio da equação de dissolução do FRA aplicado foi alterado, aumentando sua dissolução e, conseqüentemente, a disponibilidade de P às plantas, fato que esta de acordo com Horowitz & Meurer (2004). Segundo Chien & Meron (1995) e Novais & Smyth (1999), a existência de componentes do solo, ou plantas, atuando como drenos de fósforo e, principalmente de cálcio, é tida como fator preponderante para a dissolução e efetividade dos fosfatos naturais reativos.

Tradicionalmente, tem sido usada para cálculo da Eficiência de Utilização (EU) de nutrientes pelas plantas, a matéria seca produzida por unidade do nutriente acumulado no vegetal. Siddiqi & Glass (1981) propuseram o cálculo da EU em função da concentração do nutriente na matéria seca e não pela unidade do mesmo acumulado. Assim, a figura 4 mostra que, para a soja (Figura 4 A e B), em ambos os solos adubados com FRA, e no Cambissolo para o feijoeiro adubado com o FRA (Figura 4 C), o cultivo prévio de todas as gramíneas promoveu maior EU do P dessa fonte em relação ao tratamento sem cultivo prévio, fato não observado para essas leguminosas nos solos adubados com SFT. Já para o Latossolo adubado com FRA, não observou diferença na EU do P pelo feijoeiro entre os tratamentos com o cultivo prévio de gramíneas e o sem cultivo, à exceção do feijoeiro cultivado em sucessão ao braquiarião no

Latossolo, que proporcionou o menor valor (Figura 4 D). Mas para a fonte solúvel (SFT) no Latossolo, houve maior EU do P para ambas as leguminosas, no tratamento sem cultivo de forrageiras (Figura 4 B e D). Esse mesmo comportamento para ambos os solos foi observado nas leguminosas para a MSPA, PG e acúmulo total de P (Figuras 1, 2 e 3), mostrando uma estreita relação entre a EU do P por esse método e o crescimento da soja e do feijoeiro.

A eficiência de aproveitamento do P aplicado (EAPA) (Figura 5), representa o percentual do P aplicado aos solos pelas fontes que não foi absorvido pelas gramíneas, mas foi pela soja e pelo feijoeiro, ou seja, o aproveitamento do P residual pela cultura sucessora; da mesma forma para o tratamento sem cultivo. Para ambos os solos, não houve diferença da EAPA pela soja e pelo feijoeiro entre os tratamentos quando a fonte de P usada foi o SFT, à exceção, no Cambissolo, para a soja em sucessão ao braquiário (Figura 5 A), e do feijoeiro em sucessão a braquiária (Figura 5 C).

Para a fonte menos solúvel (FRA), de maneira geral, o cultivo prévio das gramíneas promoveu maior aproveitamento pela soja e pelo feijoeiro do P residual dessa fonte (EAPA), quando comparado com o tratamento sem cultivo, sendo esse efeito muito mais acentuado no Cambissolo (Figura 5 A e C). Esses resultados mostram que o cultivo prévio das gramíneas de cobertura proporcionou melhor aproveitamento do efeito residual do P pelas culturas subsequentes, quando a fonte usada foi de menor solubilidade (FRA) e no solo mais arenoso.

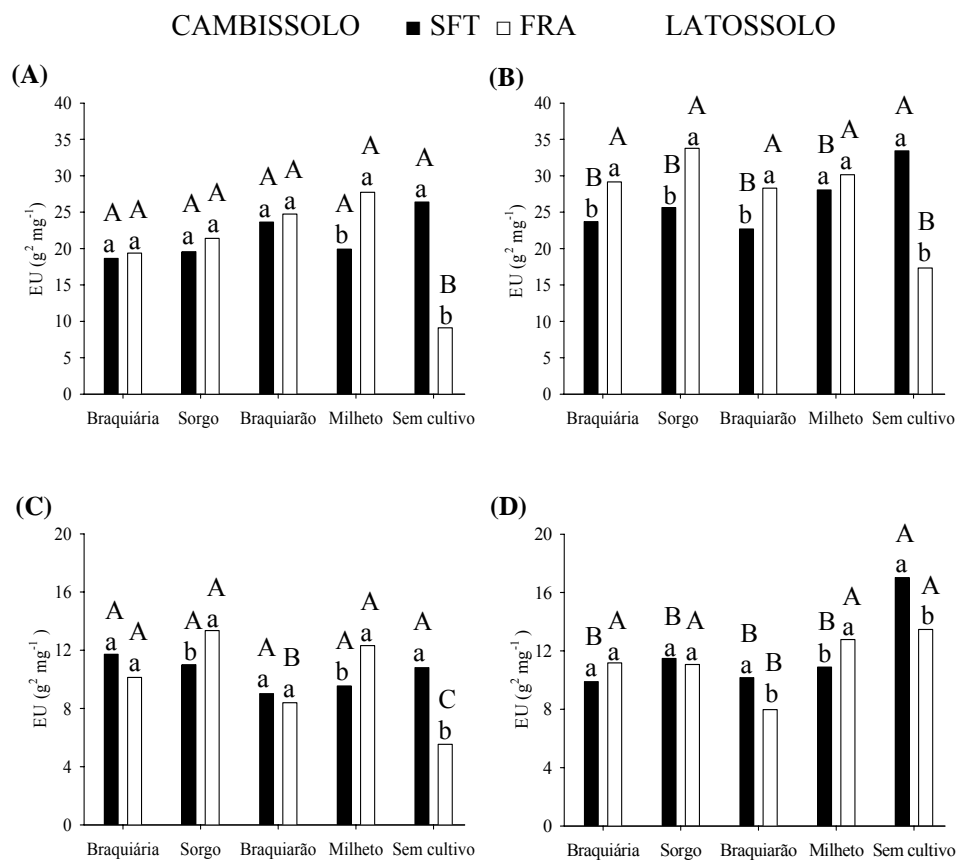


FIGURA 4 Eficiência de Utilização de P (EU) da soja (A e B) e do feijoeiro (C e D) cultivados em sucessão a gramíneas de cobertura e em solo sem cultivo, adubadas com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

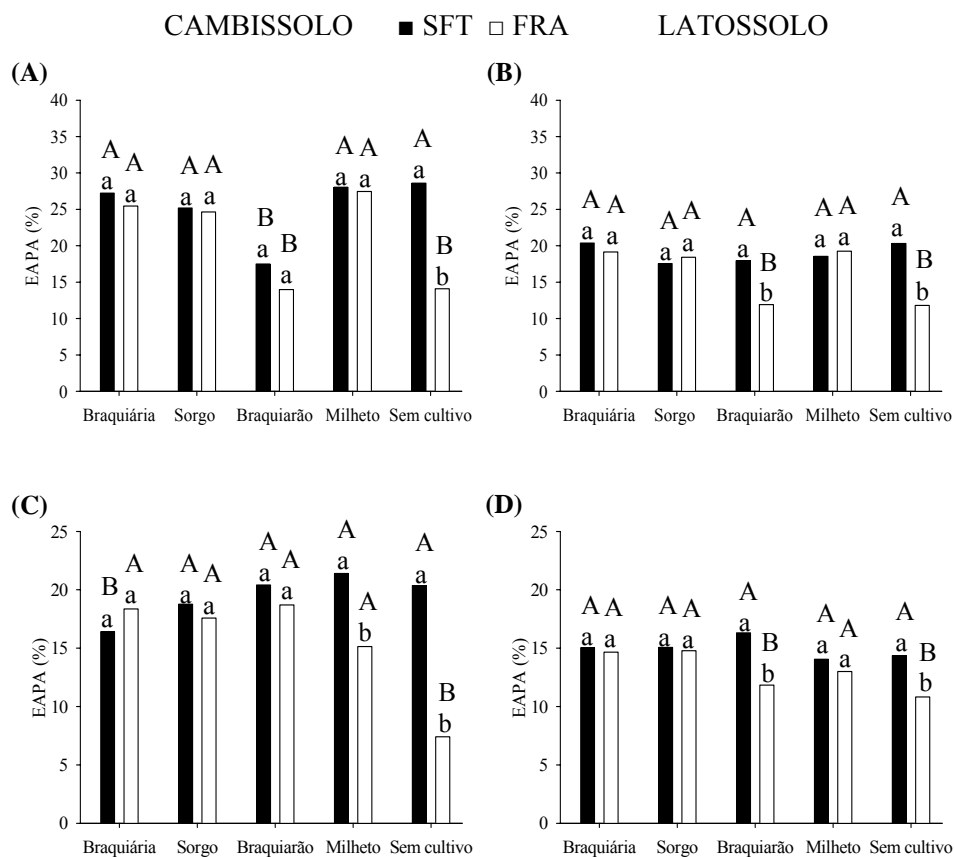


FIGURA 5 Eficiência de Aproveitamento do P Aplicado (EAPA) da soja (A e B) e do feijoeiro (C e D) cultivados em sucessão a gramíneas de cobertura e em solo sem cultivo, adubadas com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

Independentemente da fonte, a eficiência de aproveitamento do P residual (EAPA) alcançou valores próximos de 30 e 20% no Cambissolo e de 20 e 15% no Latossolo, respectivamente para a soja e feijoeiro. Assim, o Cambissolo com baixo teor de argila e elevado valor de P-rem, foi o que proporcionou nas leguminosas o maior aproveitamento de P aplicado (Figura 5 A e C). Resultados semelhantes foram observados por Novelino (1999) e Bonfim et al. (2003), que obtiveram menor aproveitamento de P com o aumento do poder tampão de fosfato dos solos. De acordo com Novais & Smyth (1999), os solos das regiões tropicais, geralmente ácidos e com predominância de argilas sexquioxídicas, atuam como forte dreno do P aplicado com os fertilizantes e reduzem drasticamente a disponibilidade e o aproveitamento pelas plantas. Assim, a facilidade de absorção do P da solução do solo pelas plantas, que está em equilíbrio com a forma lábil, é negativamente relacionada com a energia de ligação de P e com a capacidade tampão deste elemento no solo. Desse modo, em solos com maior capacidade tampão, houve menor taxa de recuperação do P aplicado.

A eficiência da fertilização fosfatada (EFF) refere-se à produção de matéria seca da planta por unidade do P aplicado pelos fertilizantes. A média da soja para EFF em ambas as fontes de P foi de 93,45 e 71,11 mg mg⁻¹, enquanto para o feijoeiro, foi de 55,24 e 40,97 mg mg⁻¹, respectivamente, para o Cambissolo e Latossolo (Figura 6). Esses resultados mostram que, para ambas as leguminosas, o Cambissolo propiciou maior EFF, ou seja, maior produção de matéria seca total por unidade de P aplicado, embora, nesse solo, acúmulo de P pelas leguminosas tenha sido menor (Figura 3 A e C). Esse fato pode ser explicado pela menor dose de P aplicada no Cambissolo (150 mg dm³) do que no Latossolo (250 mg dm³) e pela menor retenção do fosfato no solo mais arenoso, resultado que esta de acordo com Scivittaro (1993), que obteve maior

aproveitamento do P do fertilizante pelo milho em solo com menor capacidade de fixação de fosfatos.

Com relação ao cultivo prévio das gramíneas, pequeno efeito foi observado entre elas e, da mesma maneira, entre fontes dentro de cada forrageira. Apenas no tratamento sem cultivo prévio das gramíneas, tal como observado para as outras variáveis estudadas, a EFF das leguminosas foi superior na fonte SFT, sendo esse efeito menos pronunciado no Latossolo, devido ao efeito de dreno do Ca e P, como já discutido.

Para a fonte menos solúvel (FRA), de maneira geral, o cultivo prévio das gramíneas promoveu maior EFF pela soja e pelo feijoeiro, quando comparado com o tratamento sem cultivo, sendo esse efeito muito mais acentuado no Cambissolo (Figura 6 A e C). Esses resultados mostram que o cultivo prévio das gramíneas de cobertura proporcionou melhor eficiência da fertilização fosfatada pelas culturas subseqüentes, quando a fonte usada foi de menor solubilidade (FRA) e no solo mais arenoso.

A eficiência de utilização, aproveitamento de P e da fertilização fosfatada da soja e feijoeiro foram apresentadas nas figuras 4, 5 e 6. Quando se compara a eficiência de utilização, o aproveitamento de P e a fertilização fosfatada da soja e do feijoeiro através dos seus respectivos índices (Tabela 2), nota-se que a primeira foi sempre mais eficiente em aproveitar o referido nutriente que a segunda, notadamente na utilização do P, que em alguns casos, alcançou mais que o dobro da utilização do P do feijoeiro. Tal comportamento pode ser explicado pelo maior ciclo de vida da soja, contribuindo, assim, para maior produção de matéria seca da parte aérea e acúmulo de P total (Figuras 1 e 3). Todavia, as espécies se comportaram de modo semelhante em função dos solos, fontes de fósforo e da presença e ausência do cultivo prévio de forrageiras.

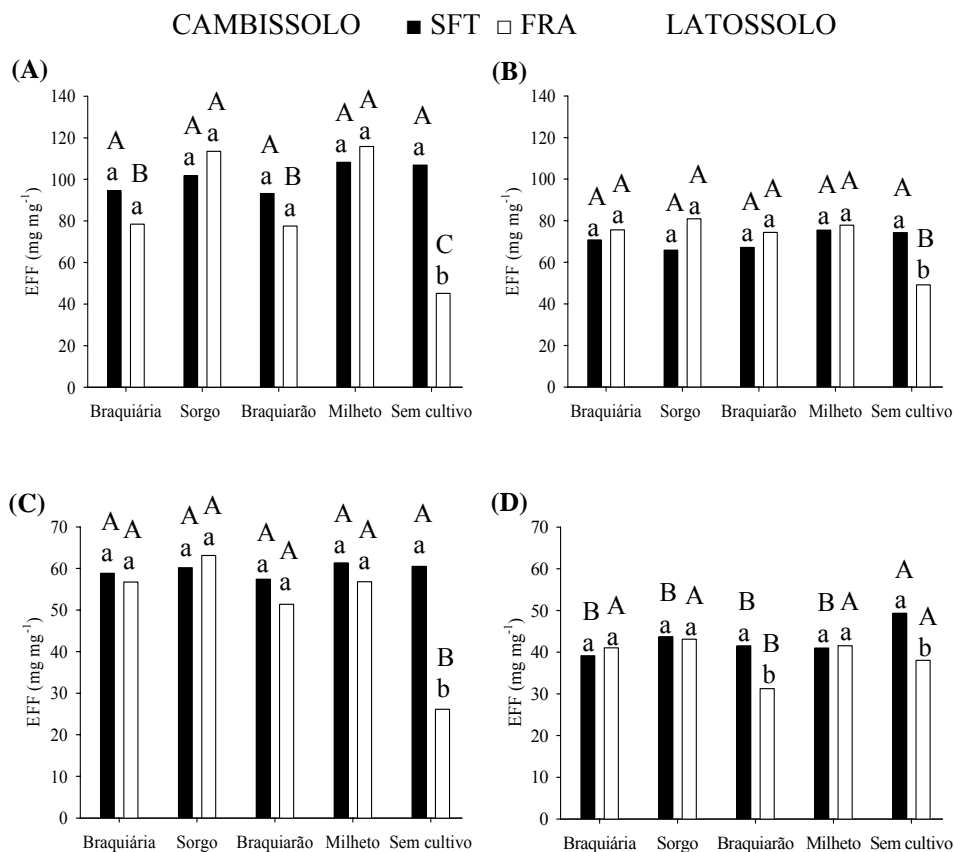


FIGURA 6 Eficiência da Fertilização Fosfatada (EFF) da soja (A e B) e do feijoeiro (C e D) cultivados em sucessão a gramíneas de cobertura e em solo sem cultivo, adubadas com Superfosfato Triplo (SFT) e Fosfato Reativo de Arad (FRA) no Cambissolo e Latossolo. Em cada solo, médias seguidas de mesma letra, minúscula, comparando as fontes de P para cada gramínea forrageira e solo sem cultivo, e maiúscula, comparando as gramíneas forrageiras e solo sem cultivo para cada fonte de P, não diferem entre si (Scott Knott 5%).

TABELA 2 Índice de utilização, de aproveitamento de P e da fertilização fosfatada da relação soja/feijoeiro com e sem o cultivo prévio de gramíneas forrageiras em diferentes solos e fontes de P.

Solos	Índice de Utilização (IU) ¹			
	Com Cultivo Prévio		Sem Cultivo Prévio	
	FRA	SFT	FRA	SFT
Cambissolo	2,10	1,97	1,64	2,44
Latossolo	2,82	2,35	1,28	1,96
Solos	Índice de Aproveitamento (IA) ²			
	Com Cultivo Prévio		Sem Cultivo Prévio	
	FRA	SFT	FRA	SFT
Cambissolo	1,31	1,27	1,90	1,40
Latossolo	1,26	1,23	1,08	1,41
Solos	Índice da Fertilização Fosfatada (IFF) ³			
	Com Cultivo Prévio		Sem Cultivo Prévio	
	FRA	SFT	FRA	SFT
Cambissolo	1,68	1,67	1,72	1,76
Latossolo	1,96	1,68	1,29	1,50

¹ IU = média EU da soja para cada fonte de P / média EU do feijoeiro para cada fonte de P (Siddiqi & Glass, 1981)

² IA = média EAPA/100 da soja para cada fonte de P / média EAPA/100 do feijoeiro para cada fonte de P (Adaptado de Siddiqi & Glass, 1981)

³ IFF = média EFF da soja para cada fonte de P / média EFF do feijoeiro para cada fonte de P (Adaptado de Siddiqi & Glass, 1981)

É necessário atentar para as limitações do conceito de eficiência à adubação fosfatada, uma vez que não evidencia se a espécie mais eficiente em aproveitar maior quantidade de P aplicado, metaboliza mais eficientemente o nutriente.

Nesse contexto, o atendimento da demanda da cultura, com um mínimo de fixação de P no solo, constituiu-se num aspecto importante para a otimização da fertilização fosfatada, aliado às práticas mais efetivas e eficientes de conservação do solo, o que pode reduzir a preocupação da sua degradação e melhorar o aproveitamento de fósforo dos fertilizantes aplicados.

4 CONCLUSÃO

No Cambissolo, solo mais arenoso, quando adubado com a fonte de P de menor solubilidade (FRA), o cultivo prévio das forrageiras promoveu na soja e no feijoeiro, cultivados em sucessão, maiores crescimento, produção e aproveitamento do efeito residual do P aplicado; o mesmo não foi observado no Latossolo, mais argiloso. Para a fonte solúvel (SFT), o cultivo prévio das gramíneas não afetou essas variáveis na soja e no feijoeiro cultivados no Cambissolo e, de maneira geral, no Latossolo, foi prejudicial, quando comparado com o tratamento sem cultivo.

Dentre as gramíneas estudadas, não se observou um efeito definido do seu cultivo prévio sobre as variáveis avaliadas na soja e no feijoeiro cultivados em sucessão.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVAREZ V., V. H.; FONSECA, D. M. **Determinação e uso do fósforo remanescente**. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2000. v. 25, p. 27-33. (Boletim Informativo).

ARF, O.; SILVA, L. S.; BUZETTI, S.; ALVES, M. C.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; HERNANDEZ, F. B. T. Efeito da rotação de culturas, adubação verde e nitrogenada sobre o rendimento do feijão. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 34, p. 2029-2036, 1999.

BONFIM, E. M. S.; FREIRE, F. J.; SANTOS, M. V. F.; SILVA, T. J. A.; FREIRE, M. B. G. S. Avaliação de extratores para determinação de fósforo disponível de solos cultivados com *Brachiaria brizantha*. **Acta Scientiarum Agronomy**, v. 25, p. 323-328, 2003.

BROCH, D. L. Integração agricultura-pecuária no Centro-Oeste do Brasil. In: ENCONTRO REGIONAL DE PLANTIO DIRETO NO CERRADO, 4, 1999, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, 2000. p. 53-60.

BROCH, D. L.; PITOL, C.; BORGES, E. P. **Integração agricultura-pecuária: plantio direto da soja sobre pastagem na integração agropecuária**. Maracaju: Fundação MS, 1997. 24p. (Fundação MS. Informativo Técnico, 01/97).

CARVALHO, M. A. C. **Adubação verde e sucessão de culturas em semeadura direta e convencional em Selvíria-MS**. 2000. 189 p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, SP.

CHIEN, S. H.; MENON, R. G. Factors affecting the agronomic effectiveness of phosphate rock for direct application. **Fertilizer Research**, v. 41, p. 277-234, 1995.

CHOUDHARY, M.; PECK, T. R.; PAUL, L. E.; BAILEY, L. D. Longterm comparison of rock phosphate with superphosphate on crop yield in two cereal-legume rotations. **Canadian Journal of Plant Science**, v. 74, p. 303-310, 1994.

CORRÊA, J. C.; MAUAD, M.; ROSOLEM, C. A. Fósforo no solo e desenvolvimento de soja influenciados pela adubação fosfatada e cobertura vegetal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 39, p.1231-1237, 2004.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Embrapa Solos, Embrapa Informática Agropecuária. **Manual de análises químicas de solos, plantas e fertilizantes**. Brasília: Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia, 1999. 370p.

FERREIRA, D. F. Análise estatística por meio do SISVAR (Sistema para Análise de Variância) para Windows versão 4.0. In: REUNIÃO ANUAL DA REGIÃO BRASILEIRA DA SOCIEDADE INTERNACIONAL DE BIOMETRIA, 45, 2000, São Carlos. **Anais...** São Carlos, SP: UFSCar, 2000. p. 255-258.

FRANCISCO, E. A. B. **Antecipação da adubação da soja na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn em sistema de plantio direto**. 2002. 58 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)–Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

FOTYMA, M.; HAMMOND, L.; KESIK, K. Suitability of North Carolina natural phosphate to Polish agriculture. **Fertilizer Research**, v. 43, p. 83-86, 1996.

GIAROLA, N. F. B. **Levantamento pedológico, perdas de solo e aptidão agrícola das terras na região sob influência do reservatório de Itutinga/Camargos (MG)**. 1994. 226 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Escola Superior Agricultura de Lavras, Lavras, MG.

HOROWITZ, N.; MEURER, E. J. Eficiência agronômica dos fosfatos naturais. In: YAMADA, T.; ABDALLA, S. R. S. **Fósforo na agricultura brasileira**. Piracicaba: Potafos, 2004. p.665-688.

IGUE, K. **Dinâmica da matéria orgânica e seus efeitos na propriedade do solo**. Adubação verde no Brasil. Campinas: Fundação Cargill, 1984. p. 232-267.

KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F. Desempenho de culturas anuais sobre palhada de braquiária. In: KLUTHCOUSKI, J.; STONE, L. F.; AIDAR, H. **Integração lavoura-pecuária**. Santo Antônio de Goiás: Embrapa Arroz e Feijão, 2003. p. 499-522.

KORNDÖRFER, G. H.; CABEZAS, W. A. L.; HOROWITZ, N. Eficiência agronômica de fosfatos naturais estrangeiros na cultura do milho. In: XXVI CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 26., 1997, Rio de Janeiro. **Resumos...** Rio de Janeiro, RJ: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 1997. p.145.

LANGE, A.; CABEZAS, W. A. R. L.; TRIVELIN, P. C. O. Matéria seca e ciclagem de nutrientes na palha em solo arenoso em sistema semeadura direta no cerrado. In: FERTBIO, 2004, Lages. **Resumos...** Lages-SC: UDESC, 2004. CD-ROM.

LOLLATO, M. A.; PARRA, M. S.; SHIOGA, P. S. Efeitos de cobertura do solo com capins marmelada e braquiária sobre o desenvolvimento do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.). In: CONGRESSO NACIONAL DE PESQUISA DE FEIJÃO, 7., 2002, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: UFV/DFT, 2002. p.610-611.

MALAVOLTA, E.; VITTI, G. C.; OLIVEIRA, S. A. de. **Avaliação do estado nutricional das plantas: princípios e aplicações.** 2.ed. Piracicaba: POTAFOS, 1997. 319p.

MOLL, R. H.; KAMPRATH, E. J.; JACKSON, W. A. Analysis and interpretation of factors which contribute to efficiency of nitrogen utilization. **Agronomy Journal**, v.74, p.562-564, 1982.

NOVAIS, R. F.; SMYTH, T. J. **Fósforo em solo e planta em condições tropicais.** Viçosa, MG:UFV, 1999. 399p.

NOVELINO, J. O. **Disponibilidade de fósforo ao longo do tempo em solos altamente intemperizados avaliadas por extratores químicos e crescimento vegetal.** 1999. 70p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Viçosa.

NUNES, U. R.; JÚNIOR, V. C. A.; SILVA, E. B.; SANTOS, N.F.; COSTA, H. A. O.; FERREIRA, C. A. Produção de palhada de plantas de cobertura e rendimento do feijão em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 41, p. 943-948, 2006.

OLIVEIRA, T. K.; CARVALHO, G. J.; MORAES, R. N. S. Plantas de cobertura e seus efeitos sobre o feijoeiro em plantio direto. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 37, p. 1079-1087, 2002.

PERUZZO, G.; WIETHÖLTER, S. Fosfatos naturais reativos: resultados obtidos no Sul do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 27., 1999, Brasília. **Anais...** Brasília: SBCS, 1999. 1 CD-ROM.

PITOL, C.; GOMES, E. L.; ERGES, E. I. Avaliação de cultivares de soja em plantio direto sobre brachiária. In: FUNDAÇÃO MS. **Resultados de pesquisa e experimentação**: safra 2000/2001. Maracaju, 2001. p.40-48.

RAJAN, S. S. S.; WATKINSON, J. H.; SINCLAIR, A. G. Phosphate rocks for direct applications to soils. **Advances in Agronomy**, v. 57, p. 77-159, 1996.

RICHART, A.; LANA, M. C.; SCHULZ, L. R.; BERTONI, J. C.; BRACCINI, A. L. Disponibilidade de fósforo e enxofre para a cultura da soja na presença de fosfato natural reativo, superfosfato triplo e enxofre elementar. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 30, p. 695-705, 2006.

SCIVITTARO, W. B. **Eficiência agrônômica de fertilizantes fosfatados fluidos e sólidos**. 1993. 111 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia)-Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP.

SEGUATELLI, C. R. **Produtividade da soja em semeadura direta com antecipação da adubação fosfatada e potássica na cultura de *Eleusine coracana* (L.) Gaertn.** ESALQ, 2004. 58p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SEVERINO, F. J. **Supressão da infestação de plantas daninhas pelo sistema de produção de integração lavoura-pecuária**. ESALQ, 2005. 113p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba, SP.

SIDDIQI, M.Y.; GLASS, A. D. M. Utilization index: a modified approach to the estimation and comparison of nutrient utilization efficiency in plants. **Journal of Plant Nutrition**, v.4, p.289-302, 1981.

SILVA, M. G.; ARF, O.; SÁ, M. E.; RODRIGUES, R. A. F.; BUZETTI, S. Nitrogen fertilization and soil management of winter common bean crop. **Scientia Agrícola**, v.61, p.307-312, 2004.

SOUSA, D. M. G.; LOBATO, E. **Adubação fosfatada em solos da região do Cerrado**. Piracicaba, n. 102, 2003. 16p. (Informações Agrônômicas. Encarte Técnico)

SOUZA, R. F.; FAQUIN, V.; FERNANDES, L.A.; AVILA, F.W. Nutrição fosfatada e rendimento do feijoeiro sob influência da calagem e adubação orgânica. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v.30, p.56-664, 2006.

SOUZA, R. F. de. **Dinâmica de fósforo em solos sob influência da calagem e adubação orgânica, cultivados com feijoeiro**. 2005. 141p. Tese (Doutorado em Agronomia)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

TORRES, J. L. R. **Estudo das plantas de cobertura na rotação milho-soja em sistema de plantio direto no cerrado, na região de Uberaba-MG**. 2003. 108p. Tese (Doutorado em Agronomia) Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias. Universidade Estadual Paulista. Jaboticabal, SP.

ANEXOS

TABELA 1A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da matéria seca total (MST) e acúmulo de P total (APT) das gramíneas forrageiras nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		MST	APT	MST	APT
Cultura (C)	3	438,75**	1685,17**	185,98**	283,86**
Fontes P (P)	1	203,81**	5102,41**	482,40**	3122,68**
C vs. P	3	70,38*	815,65**	47,51**	118,74ns
Resíduo	24	13,74	73,61	4,00	645,32
CV (%)		9,46	15,81	7,62	17,88

** , * , NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 2A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da eficiência das raízes na absorção do P (ERAP) e eficiência no transporte do P absorvido (ETPA) das gramíneas forrageiras nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		ERPA	ETPA	ERPA	ETPA
Cultura (C)	3	2,78**	0,032**	12,09**	0,02044**
Fontes P (P)	1	8,95**	0,015**	4,89*	0,00001ns
C vs. P	3	6,31**	0,015**	5,36*	0,00002ns
Resíduo	24	0,43	0,003	1,08	0,00107
CV (%)		16,10	8,29	19,97	4,03

** , * , NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 3A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da eficiência de utilização (EU) e uso eficiente do P disponível (UEPD) das gramíneas forrageiras nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		EU	UEPD	EU	UEPD
Cultura (C)	3	315,38**	0,0061**	378,36**	0,0030**
Fontes P (P)	1	203,40**	0,0018**	8,21*	0,0012**
C vs. P	3	171,58**	0,0005**	48,65*	0,0010**
Resíduo	24	19,44	0,0001	12,32	0,0001
CV (%)		14,42	8,21	16,98	9,32

** , * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 4A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da eficiência do aproveitamento do P aplicado (EAPA) e eficiência da fertilização fosfatada (EFF) das gramíneas forrageiras nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		EAPA	EFF	EAPA	EFF
Cultura (C)	3	16,85**	438,75**	7,88**	516,42**
Fontes P (P)	1	51,04**	203,81**	86,71**	1339,37**
C vs. P	3	8,15**	70,38*	3,30*	131,91**
Resíduo	24	0,73	13,74	1,11	11,14
CV (%)		15,80	9,46	17,88	7,62

** , * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 5A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e produção de grãos (PG) da soja cultivada em sucessão nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		MSPA	PG	MSPA	PG
Cobertura (C)	4	39,12*	77,36**	74,36*	88,30*
Fontes P (P)	1	17,63*	61,33*	108,30*	224,13**
C vs. P	4	423,21**	119,96**	296,96**	193,96**
Resíduo	30	12,30	11,70	22,63	21,33
CV (%)		10,55	9,49	18,80	15,96

**, * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 6A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da matéria seca da parte aérea (MSPA) e produção de grãos (PG) do feijoeiro cultivado em sucessão nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		MSPA	PG	MSPA	PG
Cobertura (C)	4	12,32**	19,65*	2,70*	67,95**
Fontes P (P)	1	1,10*	98,85*	0,86*	87,64**
C vs. P	4	16,50**	20,57*	8,15**	90,16**
Resíduo	30	2,05	8,48	1,32	2,37
CV (%)		11,84	10,82	12,42	6,89

**, * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 7A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) do acúmulo de P total (APT) e eficiência de utilização (EU) da soja cultivada em sucessão nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		APT	EU	APT	EU
Cobertura (C)	4	4331,03**	21,33*	5467,38**	51,71*
Fontes P (P)	1	7648,03**	17,86*	10120,03**	12,03*
C vs. P	4	7491,53**	615,87**	5992,95**	133,11**
Resíduo	30	380,70	239,32	801,56	15,30
CV (%)		11,08	12,43	20,09	17,97

** , * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 8A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) do acúmulo de P total (APT) e eficiência de utilização (EU) do feijoeiro cultivado em sucessão nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		APT	EU	APT	EU
Cobertura (C)	4	366,71ns	33,36**	614,63**	16,16**
Fontes P (P)	1	1809,63**	1,99*	3040,13**	0,50*
C vs. P	4	641,21*	8,15*	1920,46**	16,38**
Resíduo	30	199,60	2,61	129,23	0,98
CV (%)		10,58	14,02	11,44	9,71

** , *, NS – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 9A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da eficiência do aproveitamento do P aplicado (EAPA) e eficiência da fertilização fosfatada (EFF) da soja cultivada em sucessão nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		EAPA	EFF	EAPA	EFF
Cobertura (C)	4	37,28**	97,58**	174,28**	828,70*
Fontes P (P)	1	100,83**	282,13**	396,03**	2484,30**
C vs. P	4	72,75**	892,38**	150,95**	8540,53**
Resíduo	30	4,30	19,33	24,06	3909,33
CV (%)		11,29	6,08	19,86	14,71

** , * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.

TABELA 10A Resumo da análise de variância (quadrado médio e significância) da eficiência do aproveitamento do P aplicado (EAPA) e eficiência da fertilização fosfatada (EFF) do feijoeiro cultivado em sucessão nos solos estudados.

Fontes de Variação	G.L.	Quadrado Médio			
		Latossolo		Cambissolo	
		EAPA	EFF	EAPA	EFF
Cobertura (C)	4	5,97*	46,83*	24,86**	312,65**
Fontes P (P)	1	24,60**	147,04*	130,08**	510,24**
C vs. P	4	6,53*	57,37*	51,02**	328,61**
Resíduo	30	1,86	14,62	4,63	10,69
CV (%)		9,79	9,36	12,33	5,89

** , * – Significativo a 1, 5% e não significativo, respectivamente, pelo teste de F.